



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# STANOVENÍ ZÁVISLOSTÍ PRO VYHODNOCOVÁNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ TUHOSTI PRYŽOVÉHO KLOUBU

DETERMINATION OF DEPENDENCIES FOR EVALUATION OF STIFFNESS  
MEASUREMENTS OF RUBBER BEARINGS

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. Vojtěch BESEDA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. Milan KALIVODA

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Vojtěch Beseda

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

**Stanovení závislostí pro vyhodnocování výsledků měření tuhosti pryžového kloubu**

v anglickém jazyce:

**Determination of Dependencies for Evaluation of Stiffness Measurements of Rubber Bearings**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod.
2. Změna vlastností gumy při vystavení různým podmínkám.
3. Rozbor testů a specifikace problémů.
4. Sestavení plánu testování.
5. Spolupráce na přípravě vzorků pro testování.
6. Spoluúčast při testování gumových kloubů.
7. Vyhodnocení výsledků testů, stanovení korekčních závislostí.
8. Diskuze.
9. Závěr.

Cíle diplomové práce:

Výzkum chování gumy v pryžovém kloubu při vystavení různým podmínkám. Zjištění míry vlivu na naměřené výsledky. Stanovení přepočtových součinitelů pro vyhodnocování měření, které proběhlo za nestandardních podmínek.

Seznam odborné literatury:

1. PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-720-4283-1.
2. PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-720-4283-1.
3. PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.
4. KARPÍŠEK, Zdeněk. Matematika IV: Statistika a pravděpodobnost. 3. vyd. Olomučany: CERM, s. r. o., 2007. 170 s. ISBN 978-80-241-3380-9.
5. SEYMOUR, Raymond B. Polymers for Engineering Applications. 1st ed. Washington: ASM International, 1987. P. xxx. ISBN 0-87170-247-9.
6. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 3.2.2014

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
Děkan fakulty

## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá stanovením závislostí pro vyhodnocování výsledků měření tuhosti pryžového kloubu. Vlastnostem, použitím a chováním pryže je věnována první část práce. Navazuje část, kde je uveden popis problému a rozbor technologie výroby dané součásti. Práce pokračuje přípravou a prováděním jednotlivých testů stanovených na základě informací plynoucích z první části a z požadavků firmy. Na závěr jsou z naměřených dat vyhodnoceny potřebné závislosti a doporučení pro správná měření. Diplomovou práci uzavírá technologicko-ekonomické zhodnocení, ve kterém jsou uvedeny jednotlivé náklady pro přípravu, realizaci a rozbor testů.

### Klíčová slova

pryž, tuhost, vodící táhlo, čep, měření, závislost

## ABSTRACT

The thesis deals with analysis of rigidity of rubber joint measurements. Characteristic, usage and behaviour of a rubber is described in the first part of the work. The following chapter describes problems and analyse production technology of the given component. The work continues by a preparation of several tests established based on information provided in the first chapter and from requirements of company. At the end, correlations and recommendations for appropriate measurement are concluded based on acquired data. The thesis is closed by a technological and economical evaluation which presents required cost for preparation, realization and analysis of tests.

### Key words

rubber, stiffness, guiding rod, pin, measurement, correlation

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BESEDA, Vojtěch. *Stanovení závislostí pro vyhodnocování výsledků měření tuhosti pryžového kloubu*. Brno 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 70 s., 4 přílohy. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Stanovení závislostí pro vyhodnocování výsledků měření tuhosti pryžového kloubu** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

29. 5. 2014

Datum

Bc. Vojtěch Beseda

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu diplomové práce Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Josefu Bednářovi, Ph.D. za pomoc při statistickém vyhodnocování dat a Ing. Michalu Pittlovi a Ing. Ivanu Kaluginovi z firmy TRW-DAS a. s. za vstřícnou pomoc při řešení praktické části diplomové práce.

## OBSAH

|  |    |
|--|----|
| ABSTRAKT .....                                   | 4  |
| PROHLÁŠENÍ.....                                  | 5  |
| PODĚKOVÁNÍ .....                                 | 6  |
| OBSAH.....                                       | 7  |
| ÚVOD.....  | 9  |
| 1 REŠERŠE PRYŽÍ.....                             | 10 |
| 1.1 Úvod do problematiky týkající se pryží ..... | 10 |
| 1.2 Podrobnější údaje o pryži.....               | 13 |
| 1.2.1 Získávání.....                             | 13 |
| 1.2.2 Vhodnost použití.....                      | 14 |
| 1.2.3 Zpracování pryží .....                     | 16 |
| 1.2.4 Vlastnosti pryže .....                     | 17 |
| 1.2.5 Chování pryže pod zatížením .....          | 20 |
| 1.3 Faktory ovlivňující vlastnosti pryže.....    | 25 |
| 1.3.1 Atmosférické stárnutí.....                 | 25 |
| 1.3.2 Biologická koroze polymeru.....            | 27 |
| 1.3.3 Odolnost vůči chemikáliím.....             | 28 |
| 1.3.4 Termická a termo-oxidační degradace.....   | 29 |
| 1.4 Spojování pryže s kovem .....                | 30 |
| 1.4.1 Spojování pomocí tvrdé pryže .....         | 30 |
| 1.4.2 Spojování pomosazením.....                 | 31 |
| 1.4.3 Jiné způsoby spojování .....               | 31 |
| 2 POPIS PROBLÉMU.....                            | 32 |
| 2.1 Představení firmy a součástí.....            | 32 |
| 2.2 Představení řešeného problému.....           | 33 |
| 2.3 Technologie výroby hlavy.....                | 36 |
| 2.4 Technologie výroby pogumovaného čepu .....   | 38 |
| 2.5 Technologie přípravy trubek .....            | 39 |
| 2.6 Montáž - lisování táhla.....                 | 40 |
| 2.7 Montáž čepu do hlavy .....                   | 41 |
| 3 TESTY POGUMOVANÝCH ČEPŮ .....                  | 42 |
| 3.1 Metody měření a jejich vyhodnocování.....    | 42 |
| 3.2 Příprava testů.....                          | 44 |
| 3.2.1 Test - teplotní zátěž.....                 | 44 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.2.2 | Test – doba po montáži .....  | 46 |
| 3.2.3 | Test – doba relaxace .....  | 47 |
| 3.3   | Provádění testů .....   | 48 |
| 3.3.1 | Test – teplotní zátěž .....   | 48 |
| 3.3.2 | Test – doba po montáži .....  | 49 |
| 3.3.3 | Test – doba relaxace .....  | 50 |
| 4     | ROZBOR VÝSLEDKŮ .....   | 51 |
| 4.1   | Naměřené hodnoty testů, jejich vyhodnocení a stanovení závislostí ..... | 51 |
| 4.1.1 | Test - teplotní zátěž .....   | 51 |
| 4.1.2 | Test - doba po montáži .....  | 54 |
| 4.1.3 | Test - doba relaxace .....  | 58 |
| 5     | DOPORUČENÍ PRO MĚŘENÍ POGUMOVANÝCH ČEPŮ .....                           | 60 |
| 5.1   | Test - teplotní zátěž .....   | 60 |
| 5.2   | Test - doba po montáži .....  | 60 |
| 5.3   | Test - doba relaxace .....  | 60 |
| 6     | TECHNOLOGICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....                               | 61 |
| 7     | DISKUZE .....   | 64 |
| 8     | ZÁVĚR .....   | 65 |
|       | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....   | 66 |
|       | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....                                | 68 |
|       | SEZNAM PŘÍLOH .....   | 70 |



## ÚVOD

Přez používaná jako materiál na strojírenské výrobky má zcela jiný souhrn vlastností než klasické konstrukční materiály (kovy a jejich slitiny). Právě tyto vlastnosti přezí lze v neobyčejně širokých mezích měnit skladbou kaučukové směsi, stanovením rozměrů dílce a dalšími opatřeními. Je proto vhodným materiálem pro výrobky, jejichž funkce je podmíněna právě vlastnostmi a specifickým chováním pro přez typickým.

Specifické chování pogumovaných čepů není doposud dostatečně prozkoumáno v podmínkách firmy TRW-DAS a. s. se sídlem v Dačicích. Vzhledem k personálním kapacitám v TSCD (vývojové oddělení TRW-DAS a. s.) nebylo možno detailněji prozkoumat vliv okolí na naměřené výsledky z testování tuhosti vodicích táhel s pogumovanými čepý. Tyto dílce jsou umístěny v jednotlivých nápravách pro nákladní vozidla nebo pro speciální aplikace (rychlovlaký). Tábla slouží k přichycení nápravy k rámu. Tato součást je zobrazena na obr. 1.

Na základě dosavadních nejasností ohledně daného problému se diplomová práce zabývá problematikou chování a vlastností přezí v různých podmínkách měření. Z těchto poznatků jsou dále provedeny speciální testy a z nich vyvozeny závislosti a doporučení pro úpravu stávajícího měření tuhosti vodicích táhel.

Práce se také zabývá technologií výroby jednotlivých komponent vodicího tábla, jeho montáží a dosavadními způsoby testování.



Obr. 1 Vodicí táhlo s pogumovanými čepý.

V teoretické části diplomové práce jsou použity výrazy, jako je polymer, kaučuk, přez a guma, jež mají různé postavení vůči sobě v nadřazenosti. Polymery jsou chemické látky, které se dělí na elastomery a plasty. Dominantní skupinu elastomerů tvoří kaučuky, z nichž se vyrábí přez (hovorově guma) [15]. V příloze 1 je znázorněno rozdělení polymerů.

# 1 REŠERŠE PRYŽÍ

## 1.1 Úvod do problematiky týkající se pryží

Pryže tvoří samostatnou skupinu materiálů, vyznačujících se zcela specifickými vlastnostmi. V prvních dobách jejich prudkého rozvoje se soustřeďovala pozornost hlavně na jejich přípravu a zpracování, kdežto jejich aplikace se řešily převážně empiricky, bez důkladné znalosti vlastností těchto nových látek. Důsledkem byly četné neúspěchy, které přinášely značné finanční ztráty a zbytečně budily nedůvěru k polymerním materiálům [1].

Jednou z příčin neúspěšných aplikací polymerních materiálů je malá znalost jejich odolnosti proti působení okolního prostředí. Dlouho například převládal názor, že zejména plasty jsou odolné proti korozi, a byly proto často navrhovány i pro použití za zcela nevhodných podmínek. Plasty ani pryže však nejsou univerzální materiály vyhovující v každém prostředí. Podle svého složení podléhají v různé míře znehodnocení, přičemž jejich odolnost proti působení vnějšího prostředí závisí i na chemickém složení polymeru, na jeho struktuře, na množství a složení plniv, příměsí a nečistot, dále na způsobu a podmínkách zpracování, na chemickém složení prostředí a na podmínkách jeho působení. Odolnost proti znehodnocování vlivem vnějšího prostředí je jednou z nejdůležitějších vlastností polymerních materiálů, která podstatně ovlivňuje životnost výrobků z nich zhotovených, a tím i ekonomiku jejich aplikací [1].

Ke znehodnocování plastů a pryží může docházet například účinkem vyšších teplot, zejména v přítomnosti vzdušného kyslíku, působením slunečního a ionizujícího záření, různých chemikálií, mikroorganismů apod., a to nejen při použití, ale také při zpracování nebo skladování. Proto je znalost pochodů, které vedou k znehodnocování polymerních materiálů důležitá, jak pro spotřebitele, tak pro výrobce a zpracovatele. Znalost mechanismu degradačních procesů je podkladem pro hledání cest ke zlepšení odolnosti polymerů, a tím k prodloužení životnosti výrobků z nich zhotovených. Není-li známa odolnost polymerních materiálů, nelze zaručit jejich správnou aplikaci, a tedy ani maximální životnost plastových a pryžových výrobků. Zvýšení odolnosti polymerů proti působení vnějšího prostředí a dosažení maximální životnosti výrobků přináší nejen finanční úspory, ale i významné úspory materiálu, což má mimořádný význam se zřetelem k tomu, že zásoby surovinových zdrojů jsou omezené. Na druhé straně studium mechanismu degradačních pochodů naopak zase umožňuje řešit problematiku likvidace odpadů z plastů a pryží [1].

Z výsledků zkoušek a ze zákonitostí získaných při aplikaci plastů a pryží v nejrozličnějších podmínkách lze vyvodit obecně platné závěry o vztazích mezi molekulární strukturou polymerů a jejich odolností k vnějším vlivům. Makromolekulární látky se při chemických reakcích s okolním prostředím, které jsou jednou z hlavních příčin jejich znehodnocování, řídí stejnými zákonitostmi jako nízkomolekulární organické sloučeniny. Průběh reakce je však odlišný [1].

Na rozdíl od nízkomolekulárních organických sloučenin obsahuje makromolekula velké množství reaktivních skupin, z nichž se však na reakci podílí jen určitá část. Nerovnoměrná je nejen účast jednotlivých reakčních skupin uvnitř makromolekuly, ale i účast jednotlivých makromolekul. Přitom již malé změny chemického složení

makromolekuly, k nimž dojde při reakci s okolním prostředím, způsobují pronikavé změny užitečných vlastností polymeru [1].

Odolnost makromolekulárních látek k organickým rozpouštědlům je závislá na polaritě polymeru a rozpouštědla. Obecně platí, že nepolární polymery, jako je například polyetylen, polyisobutylen nebo polystyren, jsou odolné proti působení polárních sloučenin (např. ethanolu), ale neodolávají nepolárním látkám, např. benzínu, benzenu nebo tetrachlormethanolu (botnají v nich nebo se v nich rozpouštějí). Polární polymery naproti tomu odolávají působení nepolárních sloučenin a jsou napadány látkami polárními [1].

Přítomnost některých funkčních skupin v makromolekule, které absorbují ultrafialové záření, např. karbonylové skupiny, snižuje odolnost polymeru proti účinkům slunečního záření, a tím i jeho odolnost proti povětrnostnímu stárnutí [1].

Pro reakce polymerních materiálů při působení vnějšího prostředí je charakteristické, že probíhají v heterogenním prostředí (např. tuhá fáze a kapalná fáze nebo tuhá fáze a plynná fáze). Průběh reakce proto do značné míry závisí na schopnosti reagujícího činidla difundovat do polymeru. Když do polymeru prostředí nemůže difundovat, proběhne reakce pouze na povrchu a mechanické vlastnosti polymerního materiálu se většinou podstatněji nezmění. Čím rychleji a hlouběji prostředí do materiálu proniká, tím rychleji se mění i jeho užité vlastnosti. Nejčastěji bývá rychlost chemické reakce závislá na rychlosti difúze korozního prostředí do polymerního materiálu. V některých případech může vznikající reakční produkt difúzi prostředí do polymeru znemožnit a vytváří ochrannou vrstvu, která brání dalšímu znehodnocování polymerního materiálu. Difúze prostředí do polymeru se zpomaluje se vzrůstajícím obsahem krystalické fáze. V krystalickém stavu polymery botnají nebo reagují s prostředím pomaleji než ve stavu amorfním. Tudíž je odolnost polymerů proti působení chemického prostředí závislá také na jejich molekulární struktuře [1].

Polymerní materiály používané v technické praxi nejsou většinou čisté polymery. Obsahují různé přísady i příměsi, které mohou do značné míry v kladném nebo i záporném smyslu ovlivnit jejich odolnost proti působení okolního prostředí. Například přítomnost antioxidantů zvyšuje odolnost polymeru proti termooxidačnímu stárnutí, přísada světelných stabilizátorů nebo pigmentů může několikanásobně prodloužit životnost polymeru při venkovních aplikacích, složení plniva má vliv na odolnost proti chemikáliím, přítomnost některých kovových iontů snižuje odolnost polymerů proti termooxidaci apod. [1].

Znehodnocování polymerních materiálů působením vnějšího prostředí je předmětem intenzivního studia. Nejvíce dosud publikovaných prací se zabývá temickou a termooxidační degradací a stabilizací polymerů za teplot při jakých jsou tyto materiály zpracovávány. Mnohem vzácněji však nacházíme údaje o životnosti polymerních materiálů za teplot jejich technického použití. V posledních deseti letech značně vzrostla intenzita výzkumů fotooxidační degradace a povětrnostního stárnutí polymerních materiálů. Významných úspěchů se dosáhlo zejména v oblasti stabilizace polymerů proti fotooxidační degradaci. Poměrně málo pozornosti bylo doposud věnováno studiu mechanismu a kinetiky znehodnocování těchto materiálů účinkem různých chemikálií. Většina autorů uvádí pouze kvalitativní nebo polokvalitativní údaje, které jsou pro spolehlivou aplikaci polymerních materiálů v agresivním prostředí nepostačující. Pokud jde o působení mikroorganismů na polymerní materiály, objevují se v poslední době práce zabývající

se záměrným mikrobiálním odbouráváním polymerů v souvislosti s problematikou likvidace polymerních odpadů. Rozšiřující se aplikace polymerních materiálů v lékařství, zejména v chirurgii, otvírá novou oblast výzkumu a to studium vlivu živého organismu na implantované polymery [1].

V souvislosti s problematikou znehodnocování polymerních materiálů při působení vnějšího prostředí je nutné zmínit se o používané terminologii. Není dosud jednotná. Časově závislé interakce polymerních materiálů s okolním prostředím, vedoucí k jejich znehodnocování (ke zhoršování jejich užitných vlastností) se v literatuře označují jako stárnutí pryží, jako degradace (odbourávání) polymerů, destrukce (rozklad), popř. koroze pryží. Hovoří se o odolnosti polymerních materiálů proti stárnutí, a odolnosti proti světlu plísňím, proti bakteriím, o odolnosti proti korozi nebo o chemické odolnosti [1].

Stárnutí pryží je definováno jako souhrn nevratných změn vlastností těchto materiálů při daných podmínkách (ČSN 64 0001). Uvedený termín byl převzat z biologie a je snad nejvíce vžitý. Rozumí se jím znehodnocování polymerních materiálů působením světla, povětrnostních podmínek, teploty, ozonu a kyslíku. Hovoří se pak o povětrnostním stárnutí, světelném stárnutí, tepelném stárnutí, termooxidačním stárnutí nebo ozonovém stárnutí. Zatímco v biologii se stárnutím jednoznačně rozumí zhoršování vlastností organismu, vedoucí nakonec k jeho zániku, u polymerních materiálů tato jednoznačnost chybí. Např. při tepelném stárnutí některých polymerů může docházet zpočátku ke zlepšování užitných vlastností (např. v důsledku dotvrzování) a teprve po překročení maxima dochází k jejich zhoršování. V praxi přitom bývají i pochody vedoucí ke zlepšování vlastností často označovány jako stárnutí. Správně by se měly nazývat zrání. Pokud budeme stárnutí definovat jako souhrn chemických, fyzikálně chemických a fyzikálních pochodů, které vedou k nežádoucím nevratným změnám vlastností polymerů, může se termín stárnutí stát nadřazeným a univerzálně použitelným termínem pro souborné označení pochodů vedoucích k nežádoucím změnám užitných vlastností polymerních materiálů při působení vnějšího prostředí [1].

Degradace (odbourávání) je definováno jako souhrn rozkladných reakcí polymerů. Pod tento pojem se zahrnují jednak pochody, při nichž se makromolekula štěpí na menší částice, převážně na monomer a nízké oligomery (tento degradační pochod se nazývá depolymerace), jednak pochody spojené se změnou chemické struktury polymerního materiálu, doprovázeného často odštěpováním nízkomolekulárních produktů. Tento proces se nazývá rozklad čili destrukce polymeru. V odborné literatuře je pojednáváno s názvy, které blíže charakterizují podmínky, za kterých degradace probíhá např. [1]:

- termická a termooxidační degradace (pro odbourávání při tepelném namáhání polymeru za nepřístupu kyslíku nebo v přítomnosti kyslíku),
- fotodegradace (pro odbourávání polymerů účinkem světla),
- fotooxidační degradace (pro odbourávání polymerů při současném působení světla a kyslíku),
- biologická degradace, mechano-degradace (pro odbourávání polymerů při mechanickém namáhání),
- chemodegradace (pro odbourávání polymerů působením chemických činidel).

Na první pohled je patrná určitá příbuznost např. mezi termíny termická degradace, termooxidační degradace nebo fotodegradace a termíny tepelné, termooxidační

nebo světelné stárnutí. Tyto pojmy se v praxi často zaměňují a stávají se synonymy. Z definice však vyplývá, že pojmem degradace rozumíme spíše chemickou stránku procesu, kdežto definice stárnutí zdůrazňuje především změny vlastností polymerů a zahrnuje tedy celý soubor dlouhodobých pochodů, které tyto změny vyvolávají, což je z hlediska aplikací polymerních materiálů významnější [1].

Pojem degradace polymerních materiálů nelze zcela jednoznačně ztotožnit s pojmem zhoršování užitných vlastností, neboť některé degradační pochody jsou naopak využívány ke zlepšení těchto vlastností (např. modifikace polymerů) a jde tedy o žádoucí degradační pochody. Podle definice zahrnuje termín degradace pouze část pochodů vedoucích ke znehodnocování polymerů a není z tohoto hlediska nadřazeným pojmem. Nelze pod něj např. zařadit botnění, korozi za napětí, změny krystalinity aj., ačkoliv tyto procesy vedou k výraznému zhoršení užitných vlastností polymerních materiálů [1].

Koroze je definována jako znehodnocování materiálů chemickým nebo fyzikálně chemickým působením okolního prostředí. Tato definice klade důraz na znehodnocování materiálů, to je na nežádoucí změny užitných vlastností výrobků, a má tedy nejtěsnější vztah k praktickým aplikacím. Pod pojem koroze však nelze zařadit fyzikální pochody, které vedou k nežádoucím změnám vlastností materiálů, jako je např. sekundární krystalizace, změna krystalické modifikace a podobně. V praxi se pojem koroze užívá nejčastěji u kovových materiálů, ale termín se používá i u nekovových materiálů anorganických (např. koroze betonu) i organických (např. koroze pryží, koroze plastů). Pojmu koroze pryží a koroze plastů se nejčastěji používá k označování pochodů vedoucích ke znehodnocování těchto materiálů účinkem chemikálií, při současném chemické a mechanickém namáhání (koroze za napětí) a při působení biologického prostředí (biologická koroze, mikrobiální koroze) [1].

Z uvedeného je patrné, že nějaký vhodný termín, který by bylo možno jednoznačně použít jako nadřazený pojem k označování časově závislých pochodů vedoucích ke zhoršování užitných vlastností polymerních materiálů, dosud nebyl zaveden [1].

## **1.2 Podrobnější údaje o pryži**

### **1.2.1 Získávání**

Na celém světě se vyrobí, prodá a spotřebuje 25 000 000 tun přírodního a umělého kaučuku každý rok. Jak světová ekonomika roste spolu s rostoucí industrializací rozvojových a rozvíjejících se ekonomik, roste i poptávka po pryžových výrobcích a výroba pryže nadále roste [3].

Syntetický kaučuk byl poprvé vyroben v Německu v polovině 20. století a v současné době pokrývají různé druhy syntetického kaučuku většinu poptávky. Syntetický kaučuk se vyrábí polymerací monomerů styrenu a butadienu. Jejich polymerací se vyrábí styren butadienový kaučuk (SBR) a také poly-butadienový kaučuk (BR). Následný vývoj přinesl zavedení dalších monomerů, jako jsou například etylén a propylén. Ostatní druhy syntetického kaučuku zahrnují: butyl, známý také jako isobutylene-isoprenový kaučuk. Ten lze upravovat s pomocí atomů halogenů, jako je chlór nebo bróm, a vyrábět chlorobutyl a bromobutyl, známé pod společným názvem halogenové butyly, a nitril (akrylonitril butadien). Existuje dokonce syntetická verze přírodního kaučuku nazývaná polyisopren. Syntetický kaučuk se v současné době vyrábí na celém světě, jeho hlavními producenty jsou Čína, Spojené státy americké, Japonsko, Korea a Německo [3].

Přísady obvykle ovlivňují řadu vlastností současně. Například saze se přidávají do kaučukových směsí především pro zlepšení mechanických vlastností vulkanizátů. Současně však zlepšují i odolnost proti UV-záření, což je významné především u nenasyčených kaučuků. Informace uváděné pro různé kaučuky a přísady umožňují zmenšit počet testovaných materiálů. Je však vhodné je používat s velkou opatrností a jejich platnost si následně ověřit. Jednotlivé vlastnosti směsí nemohou být hodnoceny izolovaně, ale musí být zvažovány ve vztahu k podmínkám zamýšlené aplikace, kde se mohou různé vlivy navzájem kombinovat (např. teplota, doba expozice, mechanické napětí a deformace, přítomnost chemikálií a jejich koncentrace, atd.) [4].

Důležitou charakteristikou vulkanizátů je jejich odolnost proti tepelnému stárnutí. Vždy je nutno zvážit nejen teplotu, ale i dobu, po kterou bude materiál dané teplotě vystaven. Jako horní teplota použití se obvykle uvádí teplota, při které si vulkanizát zachová minimálně 50 % počáteční tažnosti a pevnosti v tahu po 1 008 hodinách (6 týdnů) expozice. Chování vulkanizátu v konkrétní aplikaci záleží na tom, v jakém prostředí vulkanizát pracuje. Například nepřítomnost kyslíku zvyšuje odolnost proti tepelnému stárnutí, zatímco řada chemikálií tepelné stárnutí urychluje [4].

Chemické vlastnosti vulkanizátů závisí na teplotě, i když k žádnému tepelnému stárnutí nedochází. S rostoucí teplotou například často klesá pevnost v tahu, zatímco s klesající teplotou roste modul [4].

Syntetické kaučuky pro všeobecné použití se vyznačují poměrně nízkou cenou a velkým objemem spotřeby. Ve vulkanizátech dávají vysokou pevnost a dobrou odolnost proti otěru spolu s nízkou hysterezí a vysokou odrazovou pružností. Protože mají poměrně špatnou odolnost proti stárnutí za tepla i nízkou odolnost proti ozonu, je vhodné v jejich směsích použít antidegradanty. Speciální syntetické kaučuky se většinou používají v inženýrských aplikacích, kde se požadují vlastnosti (jako je např. dlouhodobá odolnost proti botnání, zvýšené teplotě, povětrnosti, ozonu a další), které polygenové kaučuky pro všeobecné použití nezaručí [4].

### 1.2.2 Vhodnost použití

Použití jak přírodního, tak syntetického kaučuku zahrnuje široký sortiment výrobků včetně pneumatik, protektorování pneumatik, lepidel a lepících pásek a etiket, gumových podlahových krytin, průmyslových hadic, těsnění, dílů vyrobených kombinací gumy a kovu, komponent anti-vibračních systémů, farmaceutických výrobků a výrobků vyráběných namáčením, jako jsou například latexové rukavice, cévky a mnoho dalších [3].

Výběr kaučuku pro uvažovanou aplikaci se provádí na základě profilu jeho vlastností, popřípadě na základě jeho ceny. Vlastnosti kaučuků jsou obvykle uváděny pro vulkanizované směsi. Dodavatelé přísad jsou většinou schopni navrhnout i jejich správné použití pro danou aplikaci. Následující tabulka (tab. 1) popisuje výhody některých běžně použitých druhů kaučuků [4].

Tab. 1 Výhody některých běžně používaných druhů kaučuků [3].

| Druh kaučuku           | Výhody  |
|------------------------|---|
| <b>Přírodní kaučuk</b> | Široký rozsah tvrdosti<br>Vysoká pevnost<br>Dobrá trvalá deformace v tlaku<br>Dobrá odolnost k anorganickým chem. látkám      |
| <b>EPDM</b>            | Nejvyšší odolnost proti vodě<br>Velmi interní struktura<br>Dlouhodobá stabilita<br>Výborná odolnost vůči povětrnostním vlivům |
| <b>SBR</b>             | Dobrá fyzikální pevnost<br>Dobrá odolnost proti roztrhnutí a otěru  |
| <b>Polybutadien</b>    | Dobrá odolnost proti otěru<br>Vysoká pružnost<br>Nízká teplota skelného přechodu  |

Jednotlivé druhy kaučuků mají své vlastní negativní vlastnosti a zároveň omezení pro vhodnost jejich použití (tab. 2).

Tab. 2 Omezení některých běžně používaných druhů kaučuků [3].

| Druh kaučuku           | Omezení   |
|------------------------|---|
| <b>Přírodní kaučuk</b> | Nedostatečná odolnost proti ropě a organickým kapalinám<br>Maximální teplota použití do 75-100°C<br>Špatná odolnost proti ozónu |
| <b>EPDM</b>            | Není odolný vůči ropě a ropným produktům<br>Má relativně špatnou hodnotu trvalé deformace v tlaku                               |
| <b>SBR</b>             | Špatná odolnost proti ropě a palivům<br>Špatná odolnost proti povětrnostním vlivům  |
| <b>Polybutadien</b>    | Velmi špatná odolnost proti ozónu   |

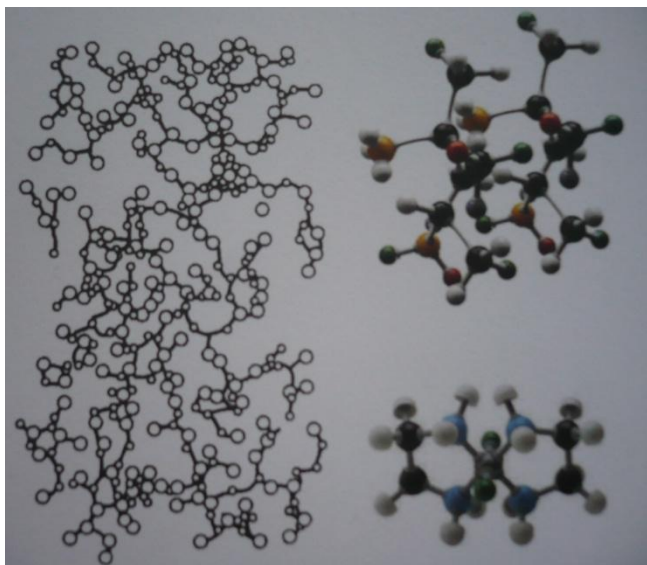
Příklady typických použití vybraných druhů kaučuků jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Příklady typických použití některých běžně používaných druhů kaučuků [3].

| Druh kaučuku           | Příklady typických použití  |
|------------------------|---|
| <b>Přírodní kaučuk</b> | Těsnění a absorpce nárazů<br>Pásky pásových dopravníků<br>Pneumatiky nákladních vozidel   |
| <b>EPDM</b>            | Zástěrky automobilů<br>Těsnění oken a dveří<br>Hadice pro automobily (ne palivové hadice) |
| <b>SBR</b>             | Nemechanické výrobky s velkým objemem<br>Podrážky bot a pneumatiky vozidel                |
| <b>Polybutadien</b>    | Pneumatiky<br>Dopravníkové pásy<br>Modifikace polystyrénu                                 |

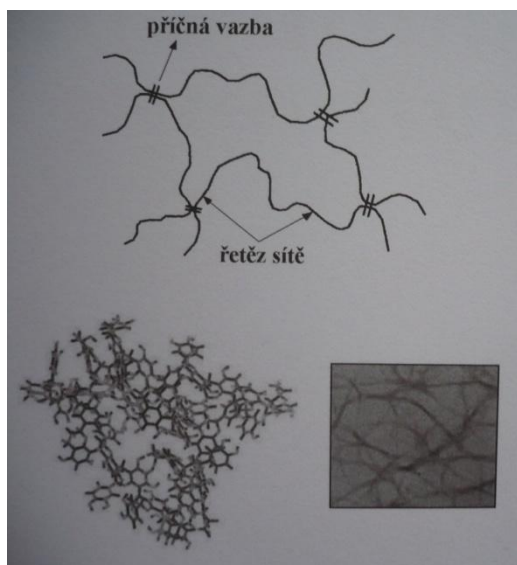
### 1.2.3 Zpracování pryží

Vlastní výroba je na bázi chemických reakcí uhlovodíků známými pod názvem kondenzace nebo polymerizace a základní stavební jednotkou jsou zde monomery - směsi o relativně nízké molekulární hmotnosti, které se opakují (obr. 2) [4].



Obr. 2 Typická polymerní molekula [4].

Tyto jednotky jsou prostřednictvím chemických vazeb spojeny do řetězců, které jsou pro většinu technicky významných polymerů lineární, případně mírně rozvětvené. V některých případech jsou strukturální jednotky spojeny ve formě trojrozměrné síťové struktury, která může vzniknout buď v průběhu přípravy, nebo dodatečným pospojováním už hotových lineárních řetězců prostřednictvím příčných vazeb – tzv. vulkanizace. Čím více příčných vazeb se zavede, tím větší je hustota sítě (obr. 3) a tím větší je modul pružnosti [4].



Obr. 3 Řez sítí polymerů [4].

Vulkanizace je proces, kterým se zpracovávají syntetické i přírodní kaučuky [4].



Vulkanizační prostředky jsou látky, které svým chemickým účinkem způsobují změny ve struktuře uhlovodíkových řetězců, jejímž výsledkem je pryž. Většina druhů kaučuků vulkanizuje pomocí síry. Jiné se vulkanizují organickými peroxidy, oxidy kovů, syntetickými pryskyřicemi. Síru je možno nahradit donory síry, při vulkanizaci uvolňují síru [6].

Urychlovače vulkanizace umožňují regulaci a nastavení vulkanizačního procesu. Mají vliv na výsledné hodnoty pryže. Dle účinku se urychlovače obvykle rozdělují na pomalé, střední, rychlé, velmi rychlé, ultra - urychlovače a urychlovače se zpožděným účinkem. Výběr druhů urychlovačů má vliv na ekonomiku výroby a výslednou hodnotu pryže. Síťovacími činidly se vytvářejí syntetické pryskyřice, např. nenasyčené polyestery, epoxidy nebo se sesíťovává kaučuk za vzniku pryže. Aktivátory vulkanizace zlepšují účinnost urychlovačů. Převážně to jsou oxidy kovů a organické látky. Naopak tzv. retardéry svou kyselou povahou snižují vulkanizační rychlost. Nahrazují se také urychlovači se zpožděným účinkem [2, 6].

Plniva jsou látky de facto práškovitého charakteru. Tvoří podstatnou část přísad. Mají převážně ztužující účinek a ovlivňují tvrdost, pevnost, strukturní pevnost a modul. Účinek je závislý na velikosti částic, specifickém povrchu, sekundární struktuře a chemickém složení. Nejpoužívanější jsou saze - kanálové, lampové, technické, acetylenové a forsunkové [6].

Při výrobě světlé nebo transparentní pryže se používají světlá plniva (křemičitá plniva - světlé saze). Mezi prostá plniva se řadí oxid hořečnatý, kaolin, křída, baryt. Účelem je dosáhnout snadné zpracovatelnosti a zlevnění směsi [6].

Změkčovadla jsou kapalné nebo tuhé látky ropného původu. Slouží pro zlepšení zpracovatelnosti a elastických vlastností výrobků. Způsobují zvýšení plasticity směsi, snadnější zpracovatelnost směsí bez nebezpečí navulkanizování (snížení teplot při zpracování), zvyšují lepivost, zlepšují mrazuvzdornost a také dovolují upravovat tvrdost vulkanizátu v širokém rozmezí. U oleju-vzdorných pryží zvyšují změkčovadla odolnost proti botnání a mrazu [6].

Antioxidanty převážně omezují přirozené stárnutí pryže, tj. před vlivem kyselin, zvýšenou teplotou, vlivem ozonu, povětrnostním vlivům, světlem a před vlivem statistického a dynamického namáhání. Separační prostředky zamezují lepení kaučuku a jeho směsí při manipulaci a skladování. Při vulkanizaci brání tyto prostředky spojení dvou směsí nebo přilepení směsi na formu. Mícháním gumárenských směsí je hlavním cílem vytvořit homogenní směs. Důležitá je proto teplota, pořadí přísad, dále pak množství přísad a v neposlední řadě také doba promíchávání jednotlivých složek [6].

#### 1.2.4 Vlastnosti pryže

Pryže mají v dnešní době mnoho specifických vlastností. Tyto vlastnosti vychází z jejich chemického složení a způsobu zpracování při výrobě. Mezi nejčastější mechanické vlastnosti pryží patří elasticita, tepelná vodivost, chemická stabilita, tvrdost v určitých rozsazích podle typu pryže, dále pevnost, tažnost, strukturní pevnost, hustota atd.

Například pryže z přírodního kaučuku velmi dobře odolávají působení vody, kyselin a zásad. Jsou napadány oxidačními činidly a rozpouštědly. Některé kovové soli urychlují jejich oxidační stárnutí [1].

Podle statistických údajů se světová spotřeba kaučuku přibližně za 15 let zdvojnásobuje. Příčinou jsou specifické vlastnosti, pro něž kaučuk a pryž (tj. z vulkanizovaný kaučuk) nacházejí stále nové a širší oblasti použití. Přitom v poslední době spotřeba kaučuku v technickém sektoru stoupá poměrně rychleji než v dopravě, to je v pneumatikách všech druhů [7].

Pryž se v mnoha směrech liší od klasických konstrukčních materiálů, především kovů a slitin a to zejména mechanické, chemické a dynamické vlastnosti pryží mají relativně velké rozptyly číselných hodnot. Pryž je použitelná v relativně úzkém teplotním intervalu. Vliv času na všechny její vlastnosti je poměrně velký. Tyto vlastnosti jsou z hlediska použití nevýhodné. Jsou však více než vyváženy četnými přednostmi, které učinily z pryže hledaný konstrukční materiál s velmi širokým uplatněním. Jedná se především o vysokou elasticitu (tj. schopnost vrátit se po uvolnění napětí do původního tvaru), schopnost snášet bez poškození relativně velké opakované deformace, schopnost přeměňovat ve velké míře mechanickou energii v tepelnou (tlumení), dále pak o velkou chemickou stabilitu, kterou je možno využívat k ochraně kovů a jiných klasických materiálů proti účinkům koroze a nepropustnost pro plyny a vodu [7].

Vlastnosti pryže lze měnit v širokých mezích nejen skladbou směsi, ale i tvarem výrobků. Dynamicky namáhané pryžové dílce nepraskají náhle, nýbrž své vnitřní „stárnutí“ signalizují různými průvodními jevy (např. trhlinkami na povrchu), jež lze pozorovat podstatně dříve. Kromě vyjmenovaných vlastností existují ještě další, které lze považovat buď za výhodné, nebo za nevýhodné podle konkrétního použití. Jako příklad lze uvést tepelnou a teplotní vodivost nebo botnění. Specifické vlastnosti pryže jsou dány chemickým složením a strukturou použitého kaučuku. Kaučuk se podle současných názorů skládá z různě dlouhých řetězových molekul, vzniklých polymerací (nebo kopolymerací) příslušných polymerů [7].

Elasticita se projevuje tím, že pryž lze poměrně malou silou deformovat v tahu, tlaku, ohybu, kroucení apod. v daleko větších mezích, než je obvyklé u kteréhokoliv jiného materiálu. Po vymizení vnější síly pryž rychle nabývá téměř beze zbytku rozměrů a tvaru, jaké měla před deformací. U některých pryží lze dosáhnout při tahovém namáhání až několikanásobného prodloužení. Podle kinetické teorie pružnosti jsou v pryži, na niž nepůsobí vnější síly, řetězové molekuly kaučuku ve zkrouceném, neuspořádaném stavu. Tento stav je nejpravděpodobnější. Při použití vnější síly se řetězce rozvinují a napřimují a orientují ve směru namáhání. Tím vznikají v materiálu vnitřní síly. Dlouhý řetěz má snahu vrátit se do původního stavu, do stavu s větší entropií. Nutným předpokladem je takové uspořádání řetězců, aby jejich deformace vůbec byla možná a jejich články se mohly otáčet [7].

Charakter všech elastomerů je dán uspořádáním molekul a jejich vzájemnými reakcemi během deformace. Vlastnosti pryže se dále modifikují vznikem primárních vazeb mezi molekulami; tyto vazby vznikají při vulkanizaci. Kromě toho existují mezi molekulami mezimolekulové neboli sekundární vazebné síly, závislé na teplotě [7].

Pro pryž je důležitý tvar distribuční křivky molekulových hmot. Například čím širší distribuce molekulových hmot (při téže průměrné molekulové hmotě), tím méně je plasticita (tj. schopnost tuhé látky zachovávat tvarové změny způsobené napětím i po jeho uvolnění) ovlivňována teplotou. Nízkomolekulární frakce pomalu vulkanizují a uvolňují tím celý vulkanizační proces. Vysokomolekulární frakce jsou houževnaté a zhoršují zpracovatelnost v operacích před vulkanizací. Předepsané podmínky vulkanizace

je přesně nutno dodržovat; odchylky od předpisů znamenají vždy změnu vlastností výrobku [7].

Pro pryž jsou specifické potíže takové, že se teplo převádí ze stěn formy do hmoty kaučukové směsi, která se vyznačuje velmi špatnou tepelnou a teplotní vodivostí. U objemových výlisků to může vést k tomu, že pryž blízko povrchu má pak jiné vlastnosti než pryž od povrchu vzdálenější. Z toho vyplývá, že se jedná o nehomogenitu vlastnosti pryže. Vlastnosti pryže jsou tedy určeny složením směsi, podmínkami vulkanizace a do jisté míry i tvarem a rozměry příslušného výrobku [7].

K orientačnímu rozřídění pryží slouží údaje základních vlastností, za něž bývá často do dnes považována jen tvrdost, pevnost, tažnost, elasticita, strukturní pevnost a hustota. Tyto údaje však zdaleka nestačí, má-li se posoudit vhodnost konkrétní pryže pro určité použití. V tomto případě se musí vyjít od požadované funkce výrobku a konkrétní pryž charakterizovat i vlastnostmi které ji popisují v podmínkách jejího použití. Je tedy nutné uvést tedy řadu dalších vlastností, jako odolnost proti vlivu prostředí, v němž dílec bude pracovat (světlo, ozón, maziva, nejrůznější chemikálie), odolnost proti dynamickému namáhání (často spolupůsobí i zvýšená teplota), elektrické vlastnosti při střídavém i stejnosměrném proudu (izolační odpor, ztrátový úhel, dielektrická konstanta, závislost na frekvenci) a další. Výběr vhodných vlastností pryže závisí tedy na použití výrobku [7].

Při konkrétním použití pryže převládá buď jediný požadavek na její vlastnosti (např. pevnost v tlaku u běžného vodovodního těsnění), nebo požadavků několik (např. vysoká odolnost proti střídavému namáhání tlakovému za vysokých teplot za přítomnosti ozónu). Složení pryže se musí volit takové, aby maximálně splňovala požadavky kladené na její použití v praxi, přitom si však pokud možno zachovala vysokou úroveň ostatních vlastností, které sekundárně rozhodují o použitelnosti a ekonomice pryžového dílce. Nelze tedy hlavní požadovanou vlastnost pryže libovolně stupňovat bez zřetele na ostatní její vlastnosti. Jde tedy vlastně vždy o určitý kompromis. Snahou je vyvinout pryž s všeobecně dobrou úrovní všech vlastností, se zdůrazněním vlastnosti (nebo vlastností) hlavní [7].

Na vlastnosti pryže má značný vliv čas, jelikož pryž je poměrně mladý materiál, nemůžeme vždy určit „životnost“ příslušného dílce. Jako příklad lze uvést pryžové těsnění údolních přehrad. Teplota i tlak kolísají tak málo, že malé jsou i změny deformace vyvolané v přehradní zdi a přenesené na těsnění. Ze zkušeností je známo, že tato těsnění spolehlivě fungují i po 30 letech. Na druhé straně vysoká napětí vedou k rychle degradaci pryžového dílce. Pryž v důsledku uspořádání molekul reaguje na změnu gradientů silového pole nepoměrně pomaleji než například kovy [7].

Také vliv teploty na všechny vlastnosti pryže je značný. Například při teplotách pod  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  se pryž svými vlastnostmi blíží kovům (do jisté míry i strukturou). Při teplotách kolem  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  se mnohé vlastnosti pryže ve srovnání s týmiž vlastnostmi při normální provozní teplotě (okolo  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) silně zhoršují. Vzhledem ke struktuře má tedy pryž relativně velké rozptyly číselných hodnot všech mechanických, chemických a dynamických vlastností [7].

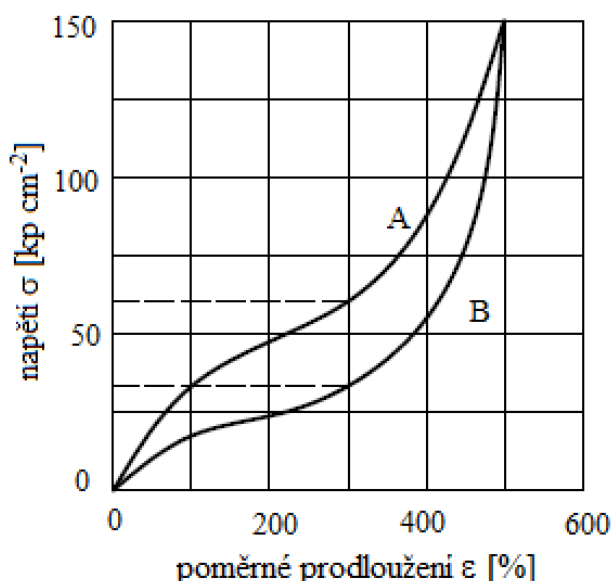
### 1.2.5 Chování pryže pod zatížením

Pro praktické použití pryžových výrobků jsou výsledky měření velikosti deformace při dynamickém namáhání mnohem důležitější než hodnoty deformace zjištěné za statických podmínek. Hodnot získaných při statickém namáhání se v gumárenské praxi používá jen pro základní klasifikaci pryžových materiálů [7].

Již byl zmíněn vliv času na vlastnosti pryže. Dynamické zkoušky i zkoušky statické provádíme v určitém čase. Při dynamických zkouškách má čas (rychlost změny velikosti vnější síly, frekvence) rozhodující vliv na velikost měřených hodnot, u statických zkoušek má značný význam. Proto např. hodnoty získané při tahových a tlakových zkouškách pryže na trhacích strojích platí pouze pro normalizovanou rychlost zatěžování. Při jiné rychlosti zatěžování získáme jiné hodnoty. Další okolností, která ovlivňuje (v míře mnohem větší než u klasických materiálů) velikost naměřených hodnot, je tvar a rozměry zkušební tělesa. V poslední době převládá názor, že i u velmi dobře zamíchané směsi jsou defektní místa, jejichž vliv se projevuje různě při různé velikosti průřezové plochy. Lze konstatovat, že hodnoty tahových vlastností získané na zkušebních tělesech odlišných tvarů a rozměrů vykazují u některých směsí velké odchylky i pro totéž napětí [7].

Všechny statické i dynamické vlastnosti pryže jsou ovlivňovány zejména tvarem a rozměry zkušební tělesa (a samozřejmě i výrobku), rychlostí změny velikosti vnějších sil a teplotou. U pryží různého složení se vliv těchto podmínek projevuje s nestejnou intenzitou. Mezi statické deformační zkoušky pryže zahrnujeme zkoušky pevnosti v tahu, v tlaku, zkoušky tažnosti, modulu a tvrdosti. Zkoušky pevnosti v tahu nebo v tlaku se provádějí na trhacích strojích tak, že se normalizované zkušební těleso natahuje (stlačuje) konstantní rychlostí a zaznamenává se příslušné zatížení. Napětí v tahu (v tlaku) je napětí stanovené z podílu síly (působící kolmo k uvažovanému průřezu) a původního průřezu. Jde o takzvané smluvní napětí, které má rozměr  $\text{kp} \cdot \text{cm}^{-2}$ . Prodloužení (stlačení)  $\Delta l$  je rozdíl měřené délky  $l$  pracovní oblasti zkušební tělesa v určitém okamžiku zkoušky a původní délky  $l_0$ . Měří se v centimetrech. Poměrné prodloužení (stlačení)  $\varepsilon$  je poměr změny délky k původní měřené délce  $l_0$  v procentech [7].

V gumárenské praxi se napětí, při kterém se dosáhne určitého předem zvoleného prodloužení, nazývá modul v tahu. (Tento modul se neztotožňuje s Youngovým modulem pružnosti, který udává velikost napětí potřebného pro zvětšení původní délky na dvojnásobek.) V obr. 4 má pryž A při poměrném prodloužení 300 % modul  $60 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2}$ , pryž B má modul  $30 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2}$ , tedy poloviční [7].

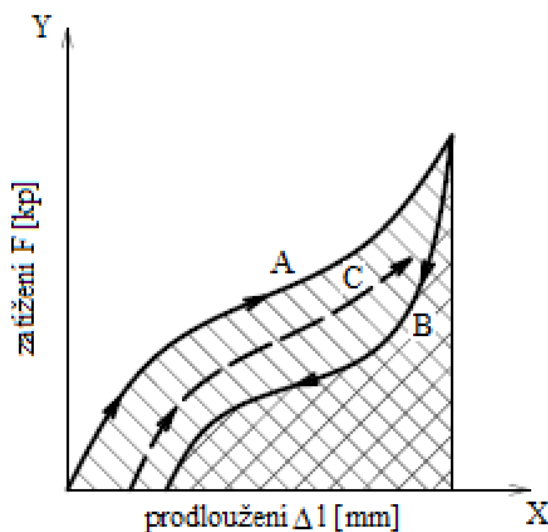


Obr. 4 Závislost napětí v tahu a poměrného prodloužení pro dvě různé pryže. Obě pryže mají stejnou pevnost v tahu a tažnost, avšak rozdílné moduly. Pozn.:  $1 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2} = 10^5 \text{ Pa}$  [7].

Při poměrném prodloužení 500 % mají obě pryže stejný modul  $150 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2}$ , který je současně pevností v tahu. Poměrné prodloužení 500 % je v tomto případě současně i tažností obou materiálů. Podle jakosti pryže se určuje modul při různých prodlouženích. Zpravidla se stanoví modul při poměrných prodlouženích 50, 100 a 300 % pro pryže s tažností do 400 %, při poměrných prodlouženích 100, 300 a 500 % pro pryže s tažností do 750 % a při poměrných prodlouženích 300, 500 a 700 % pro pryže s tažností nad 750 % [7].

Modul i pevnost mají stejný rozměr  $[\text{kp} \cdot \text{cm}^{-2}]$  vztažený na původní průřez. I když změna průřezu je značná, vztahujeme modul a pevnost na původní průřez proto, že velikost skutečného průřezu během zkoušky by bylo obtížné měřit. Pod pojmem rovnovážný modul v tahu rozumíme v gumárenské praxi hodnotu modulu, která se s časem už dále prakticky nemění. Určuje se tak, že se zkušební těleso plynule napíná (rychlostí 500 cm/min) až na předepsanou hodnotu poměrného prodloužení pracovní části zkušebního tělesa. V tom okamžiku se napínání zastaví. Zatížení začne postupně klesat. V jednodinutových intervalech se odečítají hodnoty modulů také dlouho, až tři po sobě následující údaje mají prakticky stejnou hodnotu. Aritmetický průměr těchto tří údajů určuje velikost rovnovážného modulu [7].

Tahové zkoušky jsou v zásadě velmi jednoduché. Používá se jich pro získání informativního obrazu o celkových vlastnostech pryže. Zpravidla se jimi kontroluje pravidelnost jednotlivých technologických postupů ve výrobě, zejména vulkanizace. Postupuje se při nich tak, že se pryžové zkušební těleso postupně zatěžuje až po určitou hodnotu zatížení. Těleso se postupně prodlužuje, např. podle křivky A v obr. 5 [7].



Obr. 5 Závislost zatížení a prodloužení pro určitou pryž při zatěžování (křivka A) a při bezprostředně následujícím odlehčování (křivka B) při konstantní rychlosti (0,5 m/min) a opakovaném zatěžování (křivka C) po 10 minutách. Pozn.: 1 kp = 9,81 N [7].

Při tomto zatěžovacím procesu koná těleso práci, jejíž velikost je dána plochou ohraničenou křivkou A, pořadnicí zatěžovací síly  $F$  a osou  $X$ . Jestliže naopak velikost zatížení se postupně zmenšuje až na nulu, pryžové těleso se postupně zkracuje, např. podle křivky B. Při tomto odlehčovacím procesu získáme práci, jejíž velikost je opět dána plochou ohraničenou křivkou B, pořadnicí zatěžovací síly  $F$  a osou  $X$  [7].

Tahová pružnost je poměr práce vrácené k práci dodané při plynulém odlehčování standardního zkušebního pryžového tělesa. Udává se v %. Poměrná statická hystereze je poměr rozdílu práce dodané a vrácené k práci dodané při plynulém zatěžování a následujícím plynulém odlehčování standardního zkušebního pryžového tělesa. Udává se v %. Odrazová pružnost pryže  $R_s$  je poměr energie vrácené k energii dodané při rázu. Vyjadřuje se též v %. Zjišťuje se na elastomeru Schopperově - Schobově. Tato zkouška je určena pro kontrolu odrazové pružnosti pryžových materiálů, méně vhodná je pro zjišťování elastických vlastností při vývojových zkouškách. Poměrná statická relaxace je poměr rozdílu napětí při daném prodloužení  $\varepsilon$  k napětí  $\sigma$  při tomto prodloužení, přičemž druhé napětí  $\sigma'$  se stanoví za určitý časový interval (zpravidla 10 minut) po uvolnění předcházejícího napětí. Udává se v % [7].

Tlakové zkoušky pryže jsou v gumárenské praxi méně obvyklé, hlavně proto, že průběh tlakové deformace se velmi obtížně vyhodnocuje. Pevností v tlaku rozumíme největší zatížení vztažené na původní průřez, které zkušební těleso při tlakové zkoušce snese [7].

Trvalá deformace pryže v tlaku je změna výšky zkoušeného tělesa, vyjádřená v procentech použité deformace. Zkušební těleso válcového tvaru (výšky  $h_0$ ) se vloží mezi paralelní plochy stlačovacího zařízení, zatíží na zvolenou deformaci, jejíž velikost se řídí tvrdostí pryže, a těleso se po předepsanou dobu temperuje při stanovené teplotě. Po skončení zahřívacího cyklu se těleso vyjme a ochladí při teplotě místnosti, načež se změří jeho výška  $h$  [7].

Vzhledem ke stále se zvyšujícím nárokům na kvalitu a vyrovnanost vlastností měkkých materiálů se zvyšují i požadavky na měření jejich tvrdosti. Tvrdost je vlastnost pryže odporovat vtlačování cizího předmětu zvenčí. Měrnou jednotkou tvrdosti pryže je dílek Shorovy stupnice rozdělené na 100 stejných dílků. Označuje se °Sh. Podstatou stanovení tvrdosti pryže je měření odporu proti vtlačování ocelového hrotu (normalizovaného tvaru) do zkušební tělesa pryže [8].

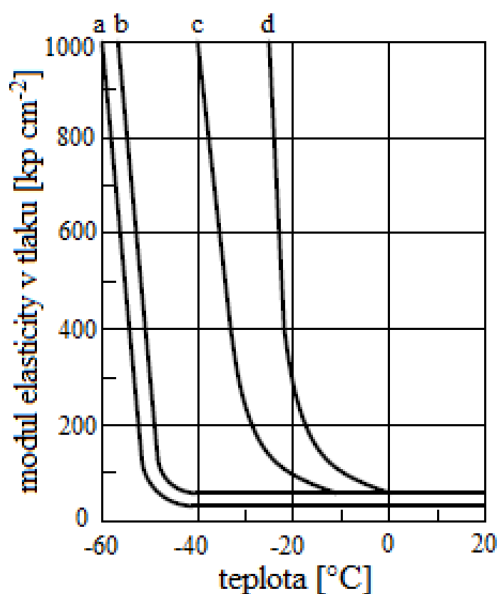
Měření tvrdosti podle Shoreho má více variant, a to [8]:

- Shore A,
- Shore D,
- Shore B,
- Shore C, a dále.

Dříve zavedená metoda Shore A pro měkké materiály a Shore D pro materiály tvrdší vyžaduje určitý rozměr vzorku (tloušťku i plochu). Tento požadavek je stanoven v normě DIN 53505 a vyplývá z konstrukce měřících přístrojů, u kterých je zdvih vnikajícího tělíska 2,5 mm a přitlačná plocha na vzorek má průměr 18 mm. Vedle metody měření dle Shoreho existuje normovaná metodika měření IRHD (International Rubber Hardness Degree) [8].

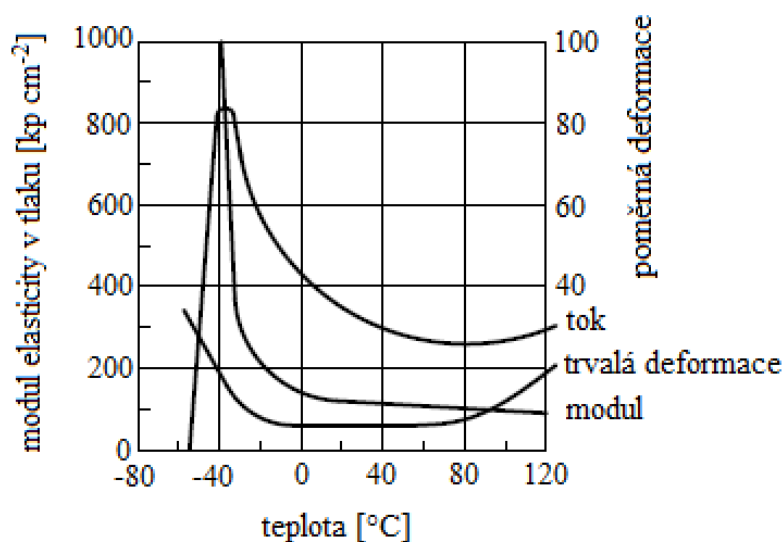
Jak již bylo dříve zmíněno, při namáhání pryže hraje určitou roli časová závislost. Pryž na namáhání (na vnější sílu) reaguje deformací (tj. změnou rozměrů a změnou tvaru), a to deformací elastickou a deformací plastickou. Elastická deformace po uvolnění napětí vymizí. Podle časového průběhu rozeznáváme deformace ideálně elastické a viskoelastické. Ideálně elastická deformace je deformace vratná, časově nezávislá (okamžitá). Viskoelastická deformace je deformace vratná, avšak časově závislá (zpožděně elastická). Plastická deformace je deformace časově závislá, dokonale nevratná. Trvalá deformace nevymizí ani po velmi dlouhé době. Dá se zrušit pouze přívodem energie do dílce, v daném případě např. natažením odlehčeného válečku [7].

Velikost modulu elasticity v tlaku je závislá na různých faktorech. Obr. 6 ukazuje, že charakter závislosti tohoto modulu na teplotě je pro různé druhy kaučuku stejný, pouze křivka je jako celek posunuta ve směru teplotní osy [7].



Obr. 6 Velikost modulu pružnosti v tlaku v závislosti na teplotě pro přírodní kaučuk (a), butadien-styrénový kaučuk (b), butadien-akrylonitrilový kaučuk (c) a chloroprenový kaučuk (d).  
Pozn.:  $1 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2} = 10^5 \text{ Pa}$  [7].

V obrázku 7 je znázorněn vliv teploty u stejného elastomeru na modul elasticity v tlaku, na velikost toku a na velikost trvalé deformace (v procentech celkové deformace) [7].



Obr. 7 Vliv teploty na velikost modulu pružnosti v tlaku, na velikost trvalé deformace a na velikost toku pro stejný vulkanizát. Pozn.:  $1 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2} = 10^5 \text{ Pa}$  [7].

Při teplotě  $-50 \text{ °C}$  nastává sklovitý stav. Hodnota modulu je velmi vysoká, velikost toku je malá. Křivka toku prochází maximem, které leží v oblasti teplot, při nichž nastává sklovitý stav. V oblasti teplot běžného použití prochází křivka toku minimem, při vyšších teplotách začne opět stoupat. U kaučukových směsí lze volbou elastomeru a vhodnou



skladbou směsí tuto křivku posunovat jako celek ve směru osy teplot a do jisté míry i ve směru kolmém na osu teplot [7].

Modul elasticity zjištěný na dílcích z různých pryží namáhaných tlakem není vlastně materiálovou konstantou, protože je kromě závislosti na teplotě a na frekvenci silně závislý i na tvaru dílce. Přitom musí být splněna důležitá podmínka, aby pryžový dílec měl při tlakovém namáhání možnost deformace do stran (kolmo na směr tlaku). Není-li tato podmínka splněna, jde o pryžový dílec prostorově uzavřený, bez možnosti deformace do stran (kolmo na směr tlaku). Pak se zjišťuje modul objemové pružnosti ( $K$ ). U pryže dosahuje modul objemové pružnosti řádově velikosti  $10^5 \text{ kp}\cdot\text{cm}^{-2}$  [7].

Mnoha zkouškami bylo potvrzeno, že konstrukční pryžové dílce téhož tvarového součinitele a z pryží o stejné tvrdosti mají stejný modul elasticity bez zřetele na rozměry dílce. Předpokladem je tedy ta samá tvrdost pryže a také ten samý tvarový součinitel. Tvarový součinitel je poměr plochy pryžového dílce k volné ploše tohoto dílce (neplatí pro složité tvary). Tvarový součinitel má tedy velikost nula pro tenké, nekonečně dlouhé pryžové vlákno zatížené v ose. Jestliže pryžový dílec namáháme jakýmkoliv způsobem (tlakem, tahem, smykem, torzí nebo kombinovaně), dodáváme mu tím energii. Zrušíme-li zatížení, nezískáme tuto energii plně zpět. Určitá její část se již nevrátí, ale promění v teplo [7].

Elasticitou nazýváme schopnost pryže vracet část dodané energie ve formě energie mechanické. Tlumení je pochod, při kterém se část dodané mechanické energie nevrací, nýbrž přeměňuje v teplo. Znalost číselné velikosti těchto hodnot je nutná pro správné navrhování pryže pro dynamické použití. Tyto veličiny zjišťujeme různými laboratorními metodami. Nejčastěji se postupuje tak, že se ke zkušebnímu pryžovému tělesu vhodného tvaru přidá hmota známé velikosti a celek se považuje za lineární oscilátor. Vychýlí-li se přidaná hmota z klidové polohy a systém ponecháme sobě, vznikne tlumené kmitání (sinusového charakteru) okolo nulové polohy [7].

### 1.3 Faktory ovlivňující vlastnosti pryže

Mezi čtyři hlavní kategorie, které pojednávají o chování polymerních materiálů a jejich vhodného použití pro různé účely, patří atmosférické stárnutí, biologická koroze polymeru, dále pak odolnost vůči chemikáliím a tepelná a termooxidační degradace [1].

#### 1.3.1 Atmosférické stárnutí

Odolnost makromolekulárních látek proti působení světla je významným faktorem, který ovlivňuje jejich použitelnost v různých průmyslových odvětvích. Světlo je jednou z hlavních příčin znehodnocování pryží při jejich aplikaci v přírodních klimatických podmínkách a ani zanedbatelným faktorem ani při použití kaučuků v interiérech osvětlovaných zářivkovými světelnými zdroji. Světlo je pouze jedním z činitelů vyvolávajících stárnutí kaučuků v různých atmosférických podmínkách, bude se tedy o fotochemické destrukci kaučuku pojednávat v souvislosti s atmosférickým stárnutím makromolekulárních látek. Atmosférické stárnutí kaučuku je projev nevratných změn jejich vlastností, vyvolaných působením různých klimatických vlivů. Tyto změny většinou vedou k menšímu nebo většímu znehodnocování materiálu [1].

V atmosférických podmínkách působí na pryže řada klimatických vlivů a nejrůznějších kvalitativních i kvantitativních kombinací. Nejdůležitější z nich jsou [1]:

- sluneční záření,
- kyslík,
- ozon,
- teplo,
- vlhkost,
- déšť,
- kysličník siřičitý,
- kysličníky dusíku.

V určitých kombinacích působí některé klimatické vlivy proti sobě (antagonisticky), v jiných se jejich účinek naopak násobí. Proto je velmi obtížné reprodukovat podmínky určité zkoušky přirozeného atmosférického stárnutí a srovnávat stárnutí polymerů v různých zeměpisných šířkách nebo za různých klimatických podmínek. Situaci dále komplikuje rozdílné složení kaučuků a přítomnost přísad a nečistot, které mohou odolnost polymerů v širokých mezích měnit [1].

Je dobře známo, že řada polymerů uchovávaných v temnu za běžných podmínek nemění své vlastnosti po dlouhou dobu, kdežto na světle dochází k poměrně rychlým změnám technicky významných vlastností polymerních materiálů. Oxidace kaučuku v přítomnosti ultrafialového záření při 45°C probíhá třikrát rychleji než při 70°C v temnu. V mnoha případech vyvolává světlo reakce, které v temnu neprobíhají buď vůbec, nebo jen velmi pozvolna. Vedle tepelné energie a kyslíku je světelné záření nejdůležitějším fyzikálním faktorem, vyvolávajícím degradaci makromolekulárních látek. Má hlavní podíl na znehodnocování kaučuků vystavených působení atmosférických vlivů. Při použití v praxi je většina pryží vystavena účinkům atmosférického kyslíku, který má v procesu atmosférického stárnutí makromolekulárních látek jednu z nejdůležitějších úloh. Jeho vliv se projevuje zejména při vystavení pryží přímému působení slunečního záření. S účinkem kyslíku se však musí počítat ve větší nebo menší míře i při skladování [1].

Pro praxi je důležité, že vliv kyslíku se nemusí bezprostředně projevit poklesem relativní molekulové hmotnosti, zhoršením mechanických vlastností apod. a zůstává po určitou dobu skrytý. Z praxe je známo, že některé druhy kaučuku a pryží, které obsahují velký počet dvojných vazeb, velmi rychle podléhají oxidační destrukci i při normální teplotě a za nepřístupu světla. Takové kaučuky jsou bez přísad antioxidantů téměř neupotřebitelné, protože reakce s kyslíkem probíhá již za normální teploty a v temnu znatelnou rychlostí, takže během několika měsíců dochází k naprostému znehodnocení materiálu. Koncentrace ozonu je největší ve výškách okolo 30 km nad zemským povrchem. V důsledku nepřetržitého turbulentního proudění je ozon zanášen vzdušnými proudy k povrchu Země, přičemž se jeho koncentrace ve vertikálním směru zmenšuje. Při vystavování pryží venkovním podmínkám může být teplota těchto materiálů značně rozdílná, většinou však nepřekračuje 100 °C. Kolísání teplot, ke kterému dochází při vystavení polymerů venkovním klimatickým podmínkám a které může být i v průběhu dne značné, vyvolává rozměrové změny. Když výrobek nemůže tyto změny vyrovnat, vzniká v materiálu mechanické pnutí, které může nepříznivě ovlivnit průběh stárnutí. Toto

mechanické namáhání bývá příčinou vzniku trhlinek a popraskání materiálu. Teplota má významný vliv na vytékávání některých složek z pryží, které může urychlit atmosférické stárnutí těchto materiálů [1].

Voda již ve formě vzdušné vlhkosti nebo dešťových či sněhových srážek má v procesu stárnutí polymerů v atmosférických podmínkách důležitou úlohu. Fyzikálně chemický účinek vody na polymery se projevuje botnáním, změnou krystalinity polymerů, vyluhováním změkčovadel, plniv, stabilizátorů apod. Zvětšení nebo zmenšení obsahu vlhkosti se pak projevuje změnou mechanických vlastností. V mimořádně suchém prostředí vede ztráta vlhkosti ke křehnutí polyamidu. V průběhu atmosférického stárnutí dochází při častém kolísání vlhkosti ovzduší u polymerů citlivých na působení vody ke střídavému vlhnutí a vysychání, spojenému se změnami rozměrů, a tím v některých případech ke vzniku trhlinek a k praskání materiálů. Absorpce vlhkosti může vyvolat u některých polymerů botnání, které je příčinou významných změn mechanických vlastností. Do jisté míry se může měnit stupeň a forma krystalinity polymerů, jak tomu např. nasvědčují výsledky měření vlivu absorpce vlhkosti u polyamidu a celulosy na jejich krystalinitu. Nepříznivý vliv dešťových srážek v průběhu atmosférického stárnutí se u pryží projevuje vyluhováním některých složek těchto materiálů. Mohou to být změkčovadla, některá plniva, stabilizátory i jiné přísady [1].

### 1.3.2 Biologická koroze polymeru

Znehodnocování polymerů biologickými činiteli je speciálním případem koroze těchto materiálů. Zatímco znehodnocování přírodních makromolekulárních látek (celulosy, hedvábí, přírodního kaučuku, bílkovin a popř. jejich derivátů) působením živých organismů, zejména plísní a bakterií, bylo velmi dobře známé, o syntetických polymerech se předpokládalo, že nemohou být zdrojem živých látek, a nebudou proto mikroorganismy napadány. Časem však přibývaly údaje o napadených výrobcích ze syntetických polymerních materiálů plísněmi a bakteriemi, které byly často provázeny změnami původních vlastností materiálu [1].

I když škody způsobené biologickou korozí pryží připravených ze syntetických polymerů nejsou zdaleka tak rozsáhlé jako škody na přírodních organických materiálech, je nutno biologické korozi polymerů věnovat pozornost, neboť být příčinou vážného selhání výrobku nebo celého zařízení. Růst plísní znehodnocuje výrobky z pryží především po stránce vzhledové a hygienické. Pigmenty, které jsou plísněmi produkovány, velmi často zbarvují polymery a po odstranění porostu zůstávají na materiálu různobarevné skvrny, které jsou prakticky neodstranitelné [1].

Odolnost pryží proti napadení mikroorganismy je závislá především na chemickém složení polymeru, na složení a množství změkčovadel, plniv, stabilizátorů nebo jiných přísad, tj. na tom, do jaké míry mohou tyto látky sloužit mikroorganismům jako zdroj uhlíku, dusíky, fosforu nebo jiných biogenních prvků. Obecně lze říci, že přírodní polymery a jejich deriváty jsou pro plísně a bakterie zdrojem živin, a jsou proto mikroorganismy napadány a rozrušovány. Většina syntetických polymerů není pro mikroorganismy živnou půdou, avšak také nebrání jejich růstu. To znamená, že syntetické polymery mohou být mikroorganismy, např. plísněmi, porůstány, jestliže jsou znečištěny živnými látkami. Zdrojem živin pro jejich růst mohou být např. nečistoty ulpělé na povrchu (prach, otisky prstů apod.) nebo zbytky některých látek z výrobního procesu (emulgátory, stabilizátory suspenze aj.) [1].

### 1.3.3 Odolnost vůči chemikáliím

Proces působení korozního prostředí na polymerní materiály lze rozdělit na tyto části [1]:

- absorpci prostředí na povrchu polymeru,
- difúzi prostředí polymerem,
- interakci mezi polymerem a pronikajícím prostředím,
- difúzi reakčních produktů z vnitřku polymeru na povrch,
- difúzi reakčních produktů s povrchem polymeru do okolního prostředí.

O tom, zda a do jaké míry dojde ke znehodnocení polymerního materiálu, rozhoduje chemické složení a struktura pryže, složení prostředí a zvláště podmínky jeho působení. Prostředí působící na polymerní materiály lze podle povahy vzájemného působení obou komponent schematicky rozdělit na dvě skupiny: fyzikálně aktivní a chemicky aktivní. Některé látky se mohou chovat i jako fyzikálně aktivní, i jako chemicky aktivní, podle podmínek působení. Například voda se k polyamidu chová jako fyzikálně aktivní při normální teplotě, kdežto za teploty varu může způsobovat hydrolýzu, a chová se tedy jako chemicky aktivní. Fyzikálně aktivní prostředí nevyvolává chemické reakce s polymerním materiálem. Změny polymeru vyvolané působením fyzikálně aktivního prostředí jsou vratné. Toto prostředí však způsobuje botnění, které může přecházet v rozpouštění. U pryží, které obsahují přísady, může fyzikálně aktivní prostředí vymývat některou součást (např. změkčovadlo), což vede k nevratným změnám vlastností polymerního materiálu [1].

Mechanismus účinku fyzikálně aktivního prostředí spočívá v porušení vazeb mezi makromolekulami polymeru. V důsledku toho se zvyšuje pohyblivost makromolekul, vzrůstá elasticita polymeru, klesá teplota zesklnění a tvrdost, zmenšuje se pevnost, mění se dielektrické a jiné vlastnosti. O odolnosti polymerů proti působení fyzikálně aktivního prostředí rozhodují ještě další faktory. Je to především fyzikální struktura polymeru, která může ovlivňovat jeho odolnost v širokém měřítku [1].

Rychlost chemické degradace polymerů roste exponenciálně s teplotou. Při teplotách nad oblastí zesklnění dochází v mnoha případech k dalšímu urychlení chemické reakce se vzrůstající teplotou. Souvisí to se snadnější difúzí prostředí do polymeru. Zvyšování koncentrace agresivní látky v prostředí obvykle urychluje znehodnocování polymeru působením chemicky aktivního prostředí. V některých případech, zvláště při změně mechanismu degradace, však může se stoupající koncentrací agresivní látky docházet ke zpomalení degradace [1].

Chemickou reakcí mezi polymerem a prostředím vzniká v některých případech vrstvička zreagovaného polymeru, která značně zpomaluje difúzi prostředí, a tím i rychlost znehodnocování polymerního materiálu. Vznik ochranné povrchové vrstvy byl např. zjištěn při působení kyseliny dusičné na pryže z izoprenového a butadienstyrenového kaučuku, při působení kyseliny chlorovodíkové na pryž z přírodního kaučuku a kyseliny sírové na pryže z přírodního a chloroprenového kaučuku. Odolnost pryží proti působení chemicky aktivního prostředí mohou v širokém měřítku jak příznivě, tak i nepříznivě různě ovlivnit plniva nebo jiné přísady. Záleží přitom na složení plniva i na jeho množství a také na podílu amorfni a krystalické fáze v polymeru a na hustotě zesíťení [1].

Důležitým faktorem, který ovlivňuje chování polymerů v agresivním prostředí je současná mechanická namáhání. Již samo mechanické namáhání polymerů může vést k roztržení kovalentních vazeb v makromolekule nebo k jejich aktivaci. Při většině praktických aplikací jsou pryže vystaveny současnému působení prostředí i mechanickému namáhání. Lze přímo hovořit o mechanicko-chemických procesech. Patří k nim takové jevy, jako je chemická relaxace, statická a dynamická únava a koroze při napětí. Aktivační vliv mechanického namáhání se projevuje při intenzivním mechanickém namáhání, např. při plastickaci kaučuku, nebo při cyklické deformaci pryží. Aktivace polymerů může probíhat bez porušení kovalentních vazeb v makromolekule. Aktivovaná makromolekula potom reaguje s okolním prostředím (kyslíkem, plnivem, přísadami apod.) [1].

Při chemické relaxaci napjatého polymeru, který je konstantně deformován, se nemění jeho vzhled ani celistvost. S tímto jevem se setkáváme např. za zvýšených teplot u silikonových, polyuretanových, akrylátových a nenasyčených kaučuků. Pokles napětí v deformovaných polymerech je důsledkem rozrušení kovalentních vazeb a vzniku nových vazeb na jiném místě makromolekuly. Bezprostředním projevem je např. nevratné tečení (křip) prostorově zesíťovaných polymerů spojené se vzrůstem zbytkové deformace. K rozštěpení kovalentních vazeb, vyvolávajícímu chemickou relaxaci napjatých polymerů, může docházet působením teploty, kyslíku a jiných sloučenin nebo působením jiných energetických faktorů. Například rychlost chemické relaxace pryže ve vodě 90 °C teplé je v přítomnosti kyslíku určována oxidačním procesem. Ve vodě je v důsledku botnání relaxace větší než ve vzduchu. Chemická relaxace může probíhat také při normální teplotě vlivem některých agresivních prostředí [1].

Při současném působení prostředí a tahového napětí vznikají v polymerním materiálu trhliny, které pronikají z povrchu do hloubky materiálu a mohou vést k porušení jeho celistvosti. Tento proces, který je jedním z nejnebezpečnějších důsledků působení prostřední na materiály, se nazývá koroze při napětí. Setkáváme se s ním nejen u polymerů, ale i kovových materiálů. Tvorbou trhlin se zmenšuje pevnost a zkracuje životnost polymerního materiálu při mechanickém namáhání i odolnost proti únavě. Na základě dosavadních poznatků lze korozi polymerních materiálů při napětí definovat jako tvorbu povrchových otevřených trhlin, vyvolanou současným působením prostředí a napětí. Prostor, který vyvolává korozi při napětí, polymery zjevně chemicky nenarušuje. Je proto nutné odlišovat trhliny vznikající při korozi s napětím od trhlin vznikajících snížením pevnosti polymeru v důsledku jeho chemické reakce s působícím prostředím, termickou degradací apod. [1].

#### 1.3.4 Termická a termo-oxidační degradace

Odolnost pryží proti tepelné a termo-oxidační degradaci je závislá na použitém kaučuku, na složení směsi a na stupni vulkanizace. Za nepřístupu kyslíku snáší většina pryží bez rozkladu teploty 200 °C až 250 °C. Na vzduchu dochází k degradaci již při teplotách podstatně nižších. Mechanismus termo-oxidace pryží je závislý především na složení elastomeru. Hlavní změny, k nimž při termo-oxidaci pryží dochází, jsou tyto [1]:

1. Vznikají další příčné vazby, což vede ke zvyšování síťové hustoty. V důsledku toho se v počátečním stadiu termo-oxidace některé mechanické vlastnosti zlepšují, později však pryž křehne a zcela ztrácí kaučukovitý charakter.

2. Dochází ke štěpení příčných vazeb, a tím k poklesu síťové hustoty, a vlastnosti pryže se mění v opačném směru než při vulkanizaci: tažnost vzrůstá, pevnost a dynamické vlastnosti se zhoršují. Pryž se stává lepkavou.
3. Může docházet k nahodilému štěpení řetězců. Zmenšuje se síťová hustota při zachování průměrné délky řetězců sítě. Klesá pevnost v tahu, zhoršují se dynamické vlastnosti pryže. Tažnost se z počátku nemění, později však klesá.
4. Může docházet k chemické modifikaci polymerních řetězců.

#### 1.4 Spojování pryže s kovem

Pryžové dílce jsou díky fyzikálně mechanickým vlastnostem pryže velmi vhodným doplněním a rozšířením sortimentu konstrukčních dílců kovových. Pryž se dobře uplatňuje v dílcích nejen pryžových, ale často i kombinovaných – gumokovových. Ty mohou být dvojího druhu. Buď jsou kovové dílce a pryžová část samostatné, navzájem nespojené a rozebíratelné, anebo kovový dílec a pryžová část jsou spolu pevně spojeny a nedají se od sebe oddělit – spojení je tudíž nerozebíratelné. Tento druh spojení pryže s kovem má více způsobů, a to [7]:

- spojování pomocí tvrdé pryže,
- spojování pomocí pomosazení,
- spojování pomocí jiných spojovacích prostředků.

Pro kvalitu spojení pryže s kovem má velký význam jak sám kov, tak i pryž (zejména polarita kaučuku, reakční schopnosti řetězce, povaha síťovacího činidla reologické vlastnosti spojovacího prostředku apod.) [7].

##### 1.4.1 Spojování pomocí tvrdé pryže

Nejstarším způsobem spojování pryže s kovovým dílcem je včlenění vrstvy tvrdé pryže mezi povrch kovového dílce a povrch pryže. Osvědčuje se jako ochrana před korozí, zejména při pogumování nádob a nejrůznějších dílců, které mají pracovat v prostředí napadajícím použitý kov. Použití pro dílce dynamicky namáhané je omezeno poměrně malou odolností tohoto spoje proti rázům a vibracím. Tento spoj je vhodný do teplot asi 70 °C [7].

Spojování tvrdou pryží má široké meze použití. Vyhovuje pro řadu kovů, zejména ocel, hliník, chrom, mosaz a zinek. Tento druh spojení je dále výhodný také tím, že kaučuková směs je při zvýšené teplotě lepivá a dobře se tudíž přizpůsobuje nerovnostem povrchu kovové plochy. Při vulkanizaci však vznikají, jak známo, plyny, které způsobí tvoření bublin v tvrdé pryži. Proto se doporučuje přidávat do směsi prach z tvrdé pryže, který omezuje sklon k tvoření bublin. Připravené kovové dílce s upraveným povrchem se jednou nebo dvakrát natrou roztokem z tvrdé pryže. Při nanášení je nutno dbát na intenzivní odsávání par rozpouštědla. Po zaschnutí nátěru se přikládá fólie z tvrdé pryže směsi a po jejím zaválečkování fólie z měkké směsi. Při vulkanizaci se vytvoří pevné spojení tvrdé pryže s kovem na jedné straně a s měkkou pryží na straně druhé [7].

#### 1.4.2 Spojování pomosazením

Pomosazování je v porovnání s předchozím druhem spojování novější způsob spojování kaučukové směsi s kovem. Mosaz je nutno aktivovat buď leptáním v kyselinách, nebo ještě lépe galvanicky nanést tenkou vrstvu mosazi na mosaznou podložku. Tato vrstvička pak zaručuje dobrou soudržnost s pryží, nejen je-li nanesena na mosaz, ale i při nanesení na jiný kov či slitinu. Tohoto způsobu možno použít téměř u všech kovů uplatňujících se v technické praxi [7].

Pevnost spoje pryže s kovem při pomosazení závisí jak na pryži, tak na pomosazení. Největší pevnost spoje dává hrubě krystalická vrstva mosazi se sametově hebkým povrchem. Všeobecně lze říci, že předpokladem dobrého spojení je vyváženost obou reakcí – reakce síry s mosazí a reakce síry s kaučukem [7].

#### 1.4.3 Jiné způsoby spojování

Pomosazování velkých nebo členitých ploch (zejména ploch s dutinami nebo záhyby) je velmi obtížné, má-li vzniknout vrstva stejné tloušťky. Proto se hledaly i jiné metody pro spojování pryže s kovy. Už okolo roku 1940 se sériově pracovalo se spojovacími roztoky vyvinutými na bázi chlorovaného přírodního kaučuku. Roztoky těchto látek se na kovové (očistěné a odmaštěné) dílce nanášely stříkací pistolí. Ze známějších spojovacích prostředků se dále uvádějí Loxite, Chemlok a Megum. Také fenolové pryskyřice mohou zprostředkovat spojení pryže s kovem [7].

V souvislosti se spojovacími prostředky je třeba upozornit na důležitou zásadu týkající se konstrukce vulkanizačních forem. Při sbližování etáží vulkanizačního lisu při zalisování dochází k pohybu materiálu v dutině formy. Formy musí být konstruovány tak, aby při zalisování nevznikaly smykové síly ve spojovací vrstvě, protože by způsobily setření nátěru nebo postříku spojovacího prostředku z kovového držáku [7].

## 2 POPIS PROBLÉMU

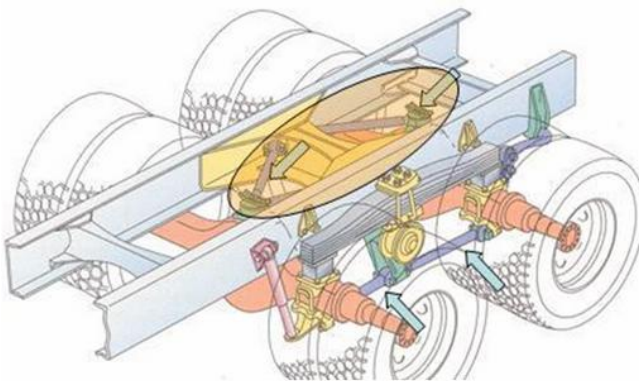
### 2.1 Představení firmy a součásti

Firma, jejíž název je TRW-DAS a. s. se sídlem v Dačicích, patří mezi největší dodavatele komponentů pro automobilový průmysl. V tomto závodě sídlí dvě divize. Jednak divize Řízení, kde se vyrábějí různé druhy vnitřních a vnějších kulových kloubů, dutých čepů, vodících táhel a kontrolních ramen náprav pro osobní a nákladní automobily a divize zvaná Ventily, která produkuje sací a výfukové ventily spalovacích motorů.

V okrese Jindřichův Hradec patří TRW-DAS a. s. mezi největší a nejvýznamnější zaměstnavatele. Společnost se neustále dynamicky rozvíjí a rozrůstá. Do Dačic přicházejí jak další nové výrobní zakázky, tak i mnoho nových mezinárodních projektů.

V roce 2005 vydalo vedení americké TRW souhlas se stavbou nové budovy a ještě téhož roku byl položen základní kámen Centra technické podpory v Dačicích (dále jen TSCD). A právě společně s TSCD je řešena tato diplomová práce.

Jedná se o součást řízení v osobních a nákladních automobilech, popřípadě i kolejových souprav. V obr. 8 je znázorněno pomocí šipek umístění dané součásti na nápravě automobilu a obr. 9 zobrazuje pouze samotný dílec po montáži jednotlivých částí.



Obr. 8 Umístění zkoumané součásti v nápravě automobilu.



Obr. 9 Osově táhlo sestavené z jednotlivých komponent.



## 2.2 Představení řešeného problému

V oddělení TSCD se provádějí mimo jiné různé druhy testů pro zjištění tuhosti pryžových kloubů. Vzhledem k personálním kapacitám v TSCD nebylo možno prozkoumat vliv okolí na naměřené výsledky tuhosti pryžového kloubu detailněji. Při měření tuhostí pryžových kloubů dochází k rozdílným výsledkům v důsledku již zmíněných okolních jevů. TSCD tedy pro zvýšení přesnosti a opakovatelnosti měření potřebuje stanovit určité podmínky, za kterých musí měření proběhnout. Proběhne-li měření za jiných podmínek, je potřeba stanovit přepočtový koeficient či závislost pro kompenzaci nestandardních podmínek při měřeních. A tím se předejde zbytečným časovým ztrátám, zajistí se opakovatelnost měření a budeme schopni přepočítat hodnoty tuhostí, jako kdyby byly naměřené při doporučených podmínkách. V neposlední řadě budou naměřené hodnoty získávány efektivněji, a tudíž budou mít kladný vliv na ekonomickou stránku měření. Proto je třeba se zaměřit na speciální testování těchto pryžových kloubů a stanovit závislosti pro vyhodnocování výsledků měření tuhosti pryžového kloubu.

Konkrétně se jedná o vodící táhlo s pogumovanými čepy. Tyto táhla mají různé druhy tvarů a velikostí pro své použití v jednotlivých nápravách pro nákladní vozidla nebo pro speciální aplikace (rychlovlaky). Zpravidla se rozlišují na dvě skupiny, a to na vodící táhlo a V-táhlo. Vyráběné typy tvarů těchto táhel jsou zachyceny na následujících obrázcích. Na obr. 10 je vodící V-táhlo a na obr. 11 jsou tvary vodících táhel.



Obr. 10 Vodící táhlo do písmene V [12].

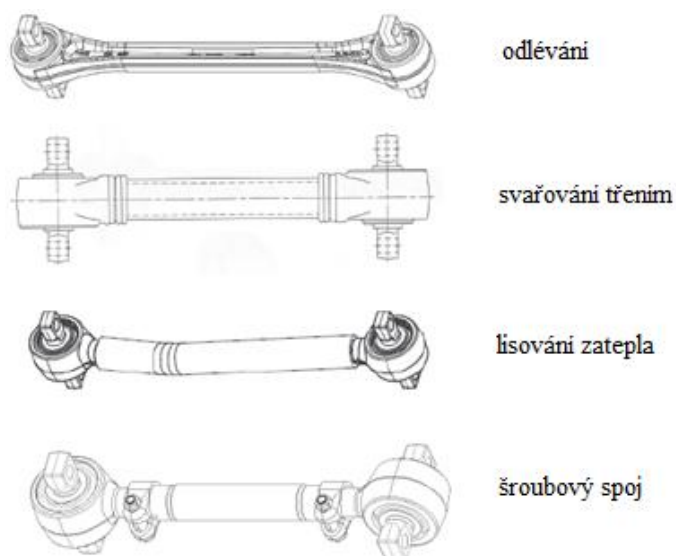


Obr. 11 Rovnná vodící táhla [12].

Vodící táhla jsou určeny především pro náročné aplikace jejich použití a zároveň bývají vyrobeny různými technologickými postupy. Varianty technologických způsobů výroby vodících táhel s pogumovanými čepy jsou:

- odléváním,
- svařování třením,
- lisováním zatepla,
- pomocí šroubových spojů.

Všechny tyto varianty způsobů výroby vodících táhel s pogumovanými čepy jsou uvedeny na obr. 12.

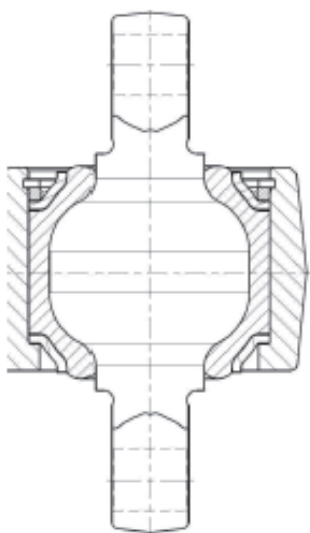


Obr. 12 Varianty způsobů spojení trubka a hlavy [12].

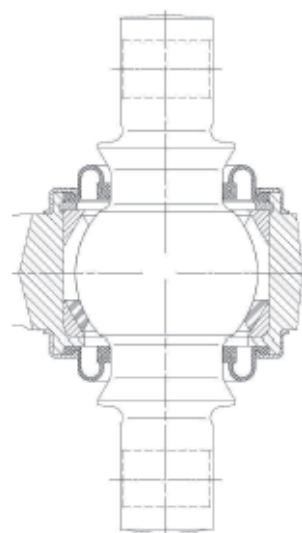
Dále se ještě například používají i kombinace těchto variant a to zejména:

- svařování třením a lisování zatepla,
- svařování třením a šroubové spojení,
- lisování zatepla a šroubové spojení.

Pogumované kulové klouby (čepy) mají také různé tvary. Může se jednat o pogumovaný čep anebo o skládaný čep s plastovou miskou. Tyto odlišné tvary jsou zachyceny na obr. 13 a obr. 14.



Obr. 13 Pogumovaný čep [12].



Obr. 14 Skládaný čep s plastovou miskou [12].

Pogumovaný čep má tvar dvou polokoulí, které jsou od sebe vzdáleny. Tento čep je zavulkanizovaný v gumě a stlačení čepu je zajištěno za pomoci dvou podpůrných kroužků. Skládáný čep s plastovou miskou je tvořen pouze kulovou plochou. Jedná se o vložený čep do plastové misky. Předpětí je zajištěno pomocí kompresních kroužků. Průměry kulových ploch se liší v závislosti na požadovaných silách. Průměry kulových ploch jsou uvedeny v tab. 4.

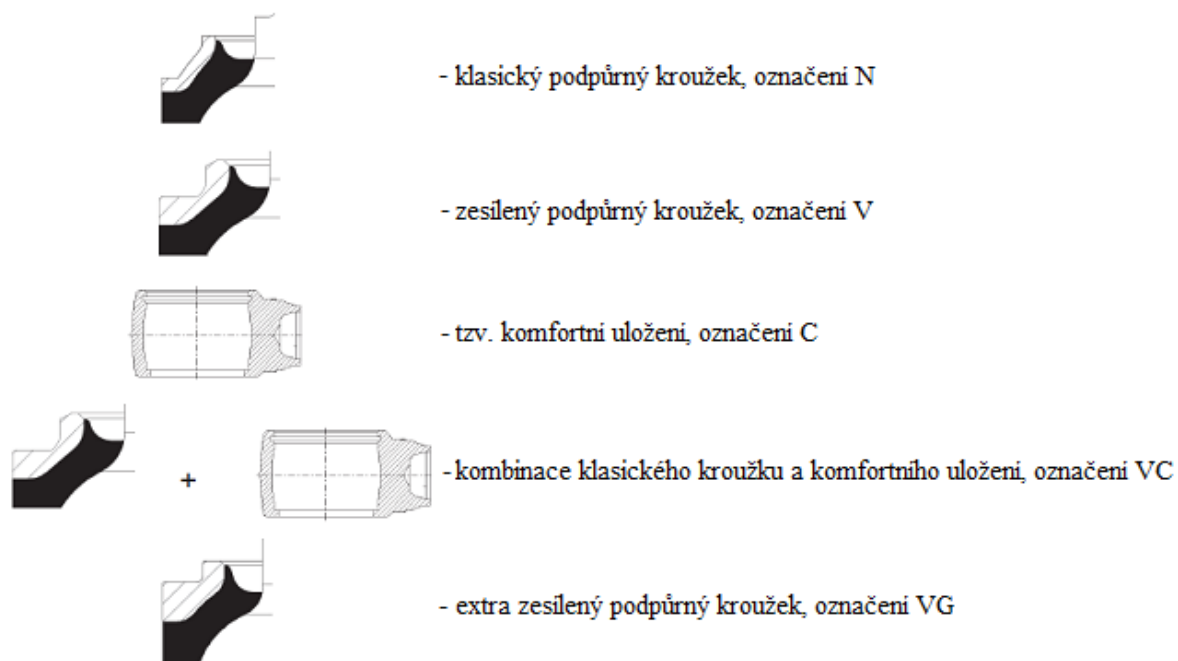
Tab. 4 Průměry kulových čepů.

| Pogumovaný čep | Skládaný čep s plastovou miskou |
|----------------|---------------------------------|
| 55 mm          | 65 mm                           |
| 62 mm          | 80 mm                           |
| 70 mm          |                                 |
| 80 mm          |                                 |
| 90 mm          |                                 |

Kulové čepy jsou uloženy různými způsoby pomocí pryže na objímky. Jedná se o varianty:

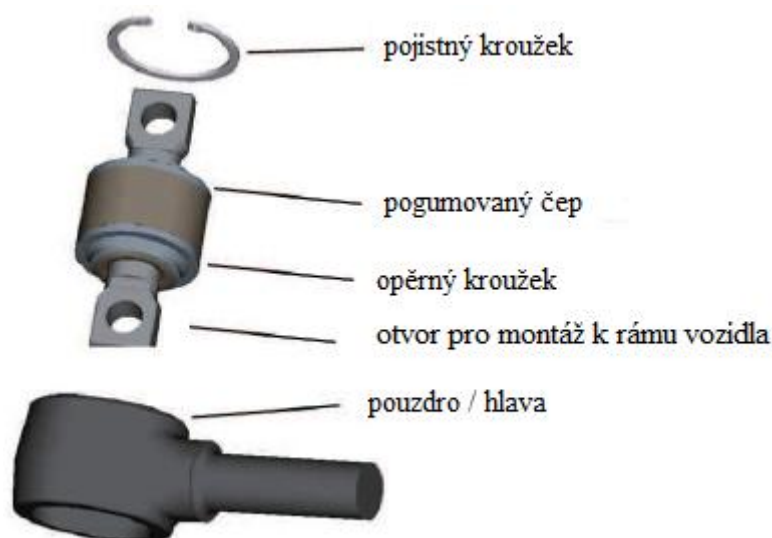
- klasického podpůrného kroužku,
- zesílený podpůrný kroužek,
- tzv. komfortního uložení,
- kombinaci klasického podpůrného kroužku a komfortního uložení,
- extra zesíleného podpůrného kroužku.

Všechny tyto varianty způsobu uložení kulového čepu jsou znázorněny na obr. 15.



Obr. 15 Způsoby uložení kulových čepů pomocí pryže [12].

Kulové čepy a další komponenty jsou uloženy v objímce táhla, které spojuje levou a pravou část celého dílce. Schéma uspořádání jednotlivých částí je uvedeno na obr. 16.



Obr. 16 Schéma uspořádání jednotlivých částí do dílce [12].

### 2.3 Technologie výroby hlavy

Jedna z částí celého dílce, ve které je uložen pogumovaný kulový čep, je tzv. hlava. Firmě TRW dodávají jako výchozí materiál odlitek této hlavy. Ten je zachycen na obr. 17.



Obr. 17 Odlitek hlavy jako vstupní polotovár.

Ve firmě posléze probíhají na tomto vstupním polotovaru jednotlivé obráběcí operace jako je:

- soustružení dutiny pro uložení kulového čepu,
- navrtání hlavy a
- soustružení dřívku hlavy (vlnovce).

Nástroje pro jednotlivé obráběcí operace používané u hlavy jsou uvedeny v tabulce 5.

Tab. 5 Použité nástroje pro obrobení hlavy.

| Druh operace  | Označení nástroje      | Slovní popis nástroje |
|---|------------------------|-----------------------|
| <b>Soustružení dutiny pro uložení kulového čepu</b> | KM 50 RCMI – VDI4070   | Držák hlavice         |
|   | KM 50 – PCLNL 12       | Hlavice               |
|   | CNMG 120412            | Břítová destička      |
|   | KM 40 – RCMI – VDI4060 | Držák hlavice         |
|   | KM 40 – PCLNR 12       | Hlavice               |
|   | NG 3M 275LK            | Břítová destička      |
|   | KM 50 – RCMI – VDI4070 | Držák hlavice         |
|   | KM 50 - PDUNR 15       | Hlavice               |
|   | DNMG 150608            | Břítová destička      |
| <b>Navrtání hlavy</b>                               | 000 – 6921 – 032 – 000 | Navrtávací přípravek  |
|   | 000 – 6906 – 084 – 000 | Středicí vrták 3,15   |
|   | 000 – 6934 – 043 - 000 | Kleština č. 3         |
| <b>Soustružení dříku hlavy (vlnovce)</b>            | 000 – 6711 – 202 – 027 | Unášecí příruba       |
|   | 000 – 6721 – 014 – 002 | Hrot do koníka        |
|   | PDNNL 2525315          | Nožový držák          |
|   | DNMA 150612            | Břítová destička      |
|   | 20.130.300.1/3         | Držák nože            |

Po dokončení operace soustružení dutiny se provádí kontrola průměru otvoru a drážky, hloubka a šířka drážky a vzdálenost obou čel náboje. Následně po navrtání hlavy probíhá kontrola hloubky navrtání jak na hlavě, tak i na dříku a po soustružení dříku hlavy následuje kontrola průměru dříku, dále pak vzdálenost první vlny ke středu dutiny hlavy a hloubka vlny na dříku. Obr. 18 zachycuje kompletně obrobenou hlavu po všech operacích.



Obr. 18 Kompletně obrobená dutina hlavy a vytvoření vlnovce na dříku.

## 2.4 Technologie výroby pogumovaného čepu

Pogumovaný čep, uložený v hlavě, je dodáván závodu též jako polotovár v podobě výkovku (obr. 19).





Obr. 19 Dodávaný polotovár čepu – výkovek.

Na tomto výkovku se dále provádějí jednotlivé technologické procesy:

- vrtání děr a sražení hran,
- soustružení polokoule,
- pogumování čepu.

V tab. 6 jsou uvedeny použité nástroje při obrábění čepu.

Tab. 6 Používané nástroje při obrábění čepu.

| Druh operace              | Označení nástroje          | Slovní popis nástroje   | Ukázka provedené operace  |
|---------------------------|----------------------------|-------------------------|---|
| Vrtání děr a sražení hran | S 25 DRZ 1957-06           | Vrták ø19 mm            |  |
|                           | ZCMT 06T2 4 SU-PR 730      | Břítová destička        |   |
|                           | 346 504 232 R13 fa Sandvik | Nástroj na sražení hran |   |
|                           | TCMT 110 204               | Břítová destička        |   |
|                           | 000-6909-084-000           | Středící vrták          |   |
| Soustružení polokoule     | 20.130.300.1/3             | Držák nože Pittler      |  |
|                           | MDNNL - M15                | Nožový držák            |   |
|                           | DNMG 160012                | Břítová destička        |   |

Po vyvrtání děr a sražení hran probíhá kontrola průměrů otvorů, jejich rozteč a také kontrola průměru navrtání. A následně po vysoustružení polokoule na čepu probíhá kontrola průměrů a vzdálenosti středu polokoule s otvorem.

Poslední technologickou operací na čepu je jeho pogumování. Pogumování čepu se neprovádí ve firmě TRW, tudíž se musejí čepy posílat do kooperace do externí firmy, kde dochází k jeho pogumování.

Pogumování v podstatě probíhá následovně: na povrch polokoule se nejdříve nanese speciální vrstva vůči dobrému přilnutí, poté se takto připravený čep vloží do formy, uzavře se forma a vstříkne se do ní pryž. Forma se nechá po určitou dobu uzavřená, aby v ní mohla pryž ztuhnout. Jestliže jsou po ztuhnutí na obvodu čepu nějaké pryžové otřepy, proběhne ještě ostřížení těchto otřepů. Jakmile je pogumovaný čep hotový, vrací se zpět do TRW, kde je už připraven jako hotová a připravená komponenta do montáže (obr. 20). Dle požadavku zákazníka se na některé pogumované čepy aplikuje protikorozi povlak.



Obr. 20 Pogumovaný čep.

## 2.5 Technologie přípravy trubek

Výroba vodicích táhel spočívá v tom, že se provede nařezání trubek na danou délku a poté se provede sražení vnitřních a vnějších hran. Takto připravené dílce (obr. 21) jsou připraveny pro konečnou montáž.



Obr. 21 Připravená vodicí táhla pro montáž.



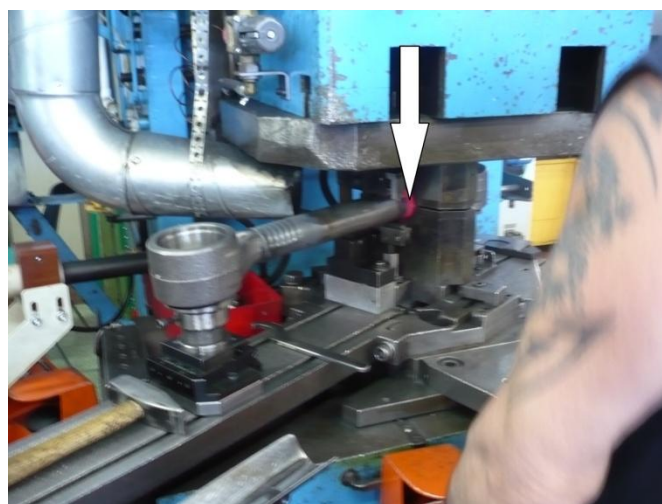
## 2.6 Montáž - lisování táhla

Při lisování táhla se musí nejdříve trubka nahřát na přibližně 750 °C pomocí indukčního ohřevu (obr. 22). Po ohřevu se do trubky vloží hlava a společně se vše vkládá do lisovacího přípravku. Následuje samotné slisování trubky k hlavě (obr. 23). Dílec se otočí a ten samý proces lisování se provede i na druhé straně trubky.

V průběhu lisování působí tlak 110 barů. Lisování táhel probíhá na stroji pod označením Dunkes HZV 200. V tomto stroji jsou umístěny také termo-kamery, které hlídají správnou teplotu při lisování.



Obr. 22 Nahřívání trubky pomocí indukčního ohřevu.



Obr. 23 Slisování trubky s hlavou; šipka zachycuje zahřátou část trubky pod lisem.



## 2.7 Montáž čepu do hlavy

Princip této montáže spočívá v tom, že se zalisovaná hlava s trubicí položí do přípravku (obr. 24) a do hlavy se vloží čep. Dále se na hlavu přiloží kuželové pouzdro, které slouží pro vedení a stlačení pojistného kroužku a poté se do pouzdra vloží pojistný kroužek. Následně se zalisuje čep a pojistný kroužek do hlavy až po zaskočení pojistného kroužku do drážky v hlavě (obr. 25). Právě toto zaskočení pojistného kroužku je důležitý parametr pro správnou funkci táhla. Následně se dílec otočí a ten samý postup lisování proběhne i na druhé straně táhla.

Lisovací síla je 150 000 – 300 000 N dle velikosti čepu. Doba lisování trvá 5 vteřin plus 40 vteřin je doba manipulace. Lisování probíhá na stroji s označením MAE S40S.



Obr. 24 Přípravek pro zalisování čepu do hlavy.



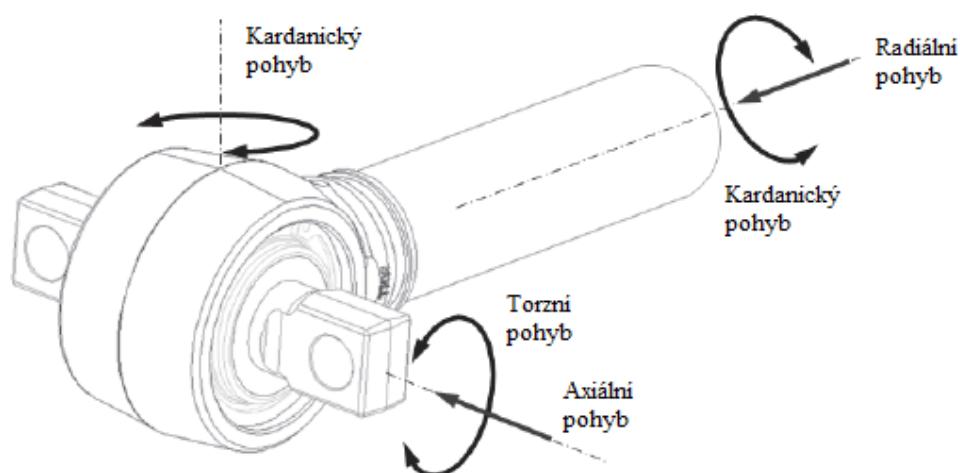
Obr. 25 Zalisování čepu do hlavy.

### 3 TESTY POGUMOVANÝCH ČEPŮ

Metody měření a jejich vyhodnocování používané ve firmě vycházejí z obecných principů metrologie a statistiky [9, 10].

#### 3.1 Metody měření a jejich vyhodnocování

V TSCD se používá v průběhu testování vodících táhel hned několik způsobů pohybů, které slouží k vyhodnocování tuhosti pryžových kloubů. Tyto pohyby, pomocí kterých jsou zaznamenávány různé velikosti odporů a vůlí v uloženích, jsou graficky popsány na obr. 26.



Obr. 26 Schematicky znázorněné druhy pohybů působící na pryžový kloub v hlavě [12].

Všechny tyto pohyby mají své zjednodušené označení:

- axiální pohyb s označením Ca,
- radiální pohyb s označením Cr,
- torzní pohyb s označením Ct,
- kardanický pohyb s označením Cc.

Nejčastější druh zatěžování vodících táhel při pohybu automobilu je v radiálním (podélném) směru. Ten právě působí při rozjezdech a brzdění automobilu. V zatáčkách působí na pryžový kloub v hlavě tzv. kardanický pohyb, při přejezdu nerovnostmi je to torzní pohyb a na nakloněné rovině nebo při průjezdu automobilu zatáčkami působí vlivem odstředivé síly na pryžový kloub axiální pohyb.

Při radiálním testu se pomocí děr na čepu upne dílec na podpěru a v ose táhla se působí určitou silou přes hlavu na pogumovaný čep. Takto se tedy provádí test pomocí radiálního pohybu.

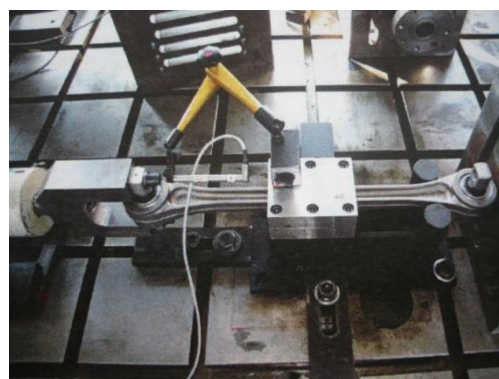
Testování vodícího táhla v axiálním směru se provádí tak, že se napevno uchytí hlava táhla, a poté se působí určitou silou na čep v jeho ose.

Při testování vodícího táhla v kardanickém směru se táhlo pevně zafixuje a k čepu pomocí jeho děr se upne přípravek. Poté se přípravkem otáčí ve směru kolmém k ose čepu.

A testování vodícího táhla v torzním směru probíhá tak, že se táhlo pevně zafixuje a k čepu se pomocí jeho děr upne přípravek. Poté se přípravkem otáčí, ale na rozdíl od testování v kardanickém směru se zde otáčí ve směru v ose čepu. Obr. 27 zachycuje všechny čtyři druhy pohybů.



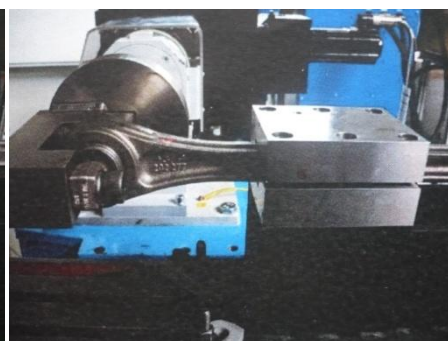
a)



b)



c)



d)

Obr. 27 Testy pogumovaného čepu pomocí a) axiálního pohybu, b) radiálního pohybu, c) kardanického pohybu a d) torzního pohybu [13].

Pro všechny druhy testů jsou předepsány velikosti zatížení, předpětí a rozměry přípravků buď zákazníkem, nebo samotnou firmou. Záleží také i na provedení dílce a velikosti průměru kulového čepu. Zatížení u axiálního a radiálního pohybu se udává v jednotkách  $[\text{kN} \cdot \text{mm}^{-1}]$  a otáčivý kardanický a torzní pohyb v jednotkách  $[\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{deg}^{-1}]$ .

Vyhodnocování se provádí v programu zvaném Diadem. V něm se zvolí daný způsob vyhodnocení a předepíší okrajové podmínky. Způsob vyhodnocování se liší podle testované součásti. Je-li měřená součást v pořádku, musí dosáhnout hodnoty v předepsané toleranci pro daný test a danou velikost kloubu [11].

### 3.2 Příprava testů

Bylo potřeba se začít nejprve zabývat vlastnostmi a chováním pryže. Z rešerše bylo zjištěno mimo jiné, že pryž je velmi závislá na mnoha aspektech. Jedná se kromě jiného o závislosti časové, teplotní a mechanické. Na základě těchto zjištění a požadavků firmy byly provedeny speciální testy, dle kterých se stanovily určité závislosti pro úpravu stávající metodiky měření pryžových kloubů. Z důvodu náročnosti testů byla soustředěna pozornost pouze na radiální tuhost, protože se jedná o nejvýznamnější způsob zatěžování [14].

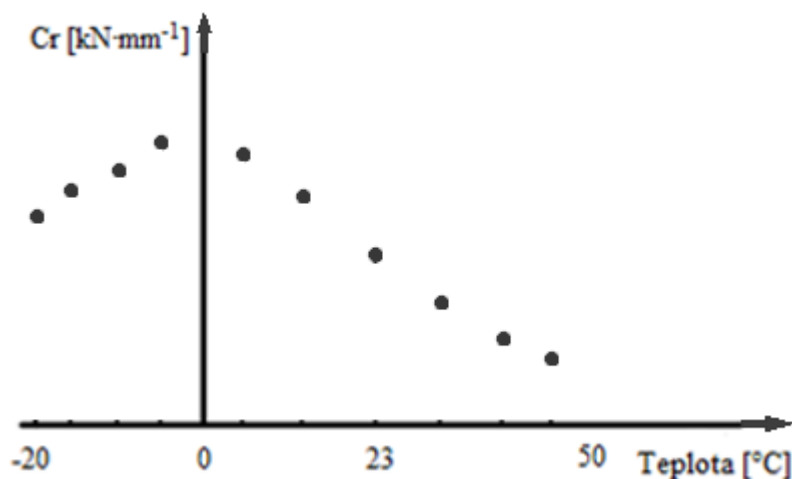
Stanovilo se, že se budou provádět 3 speciální druhy testů a to:

1. test za různých teplotních podmínek (dále označováno test - teplotní zátěž),
2. test závislý na časové prodlevě po montáži součásti (dále označováno test - doba po montáži),
3. test potřebný pro změření a získání stejné hodnoty na též součásti (dále označováno test - doba/vliv relaxace).

#### 3.2.1 Test - teplotní zátěž

Pro tento test bylo možno použít maximálně 4 kusů gumovaných čepů a stejný počet hlav. Test byl proveden 13 dní po montáži, aby se napětí v čepu vyrovnalo a neovlivňovalo měření. Stanovil se teplotní rozsah ( $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Teplota se měnila v daném intervalu po  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Např. ( $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 1,5\text{ hod}$ ,  $-15\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 1,5\text{ hod}$ ,...). Cílem tohoto testu bylo zjistit vliv teploty na radiální tuhost a stanovit vhodný přepočít na podmínky při  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

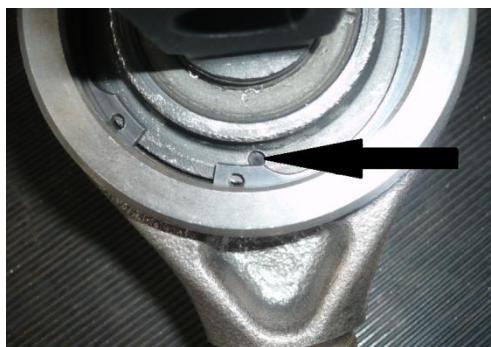
Na obr. 28 je znázorněn hrubý předpoklad, jak by mohl výsledný průběh testu vypadat.



Obr. 28 Předpoklad průběhu grafu v prvním testu.

**Před-test:**

Pro tento test bylo zapotřebí nejdříve provést tzv. před-test, díky němuž se zjistilo, jak dlouhá doba je zapotřebí, aby se teplota uvnitř čepu vyrovnala s teplotou v teplotní komoře. Do čepu se vyvrtal otvor pro zavedení čidla (zachyceno šipkou na obr. 29) snímajícího teplotu uvnitř čepu a druhé čidlo se ponechalo volně v blízkosti čepu.



Obr. 29 Vytvořený otvor pro uložení čidla snímajícího teplotu uvnitř čepu.

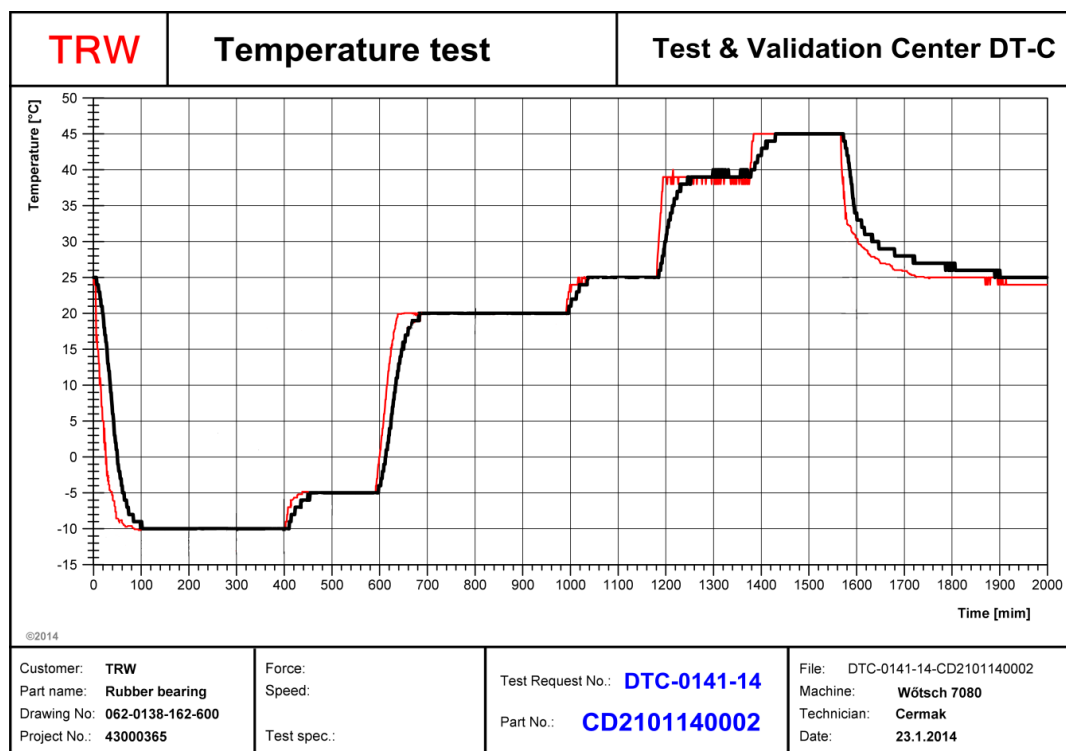
Čep s hlavou a čidly se uzavřely do teplotního agregátu (obr. 30), kde se vždy po určité době měnila teplota.



Obr. 30 Teplotní agregát, v němž byla měněna teplota.

Vycházelo se z provozní teploty 25 °C, poté docházelo k ochlazení na teplotu -10 °C, následovalo ohřátí na teplotu -5 °C, 20 °C, 25 °C, 40 °C a až na 45 °C a posléze ochlazení zpět do výchozí teploty 25 °C. Výsledný graf je znázorněn na obr. 31.



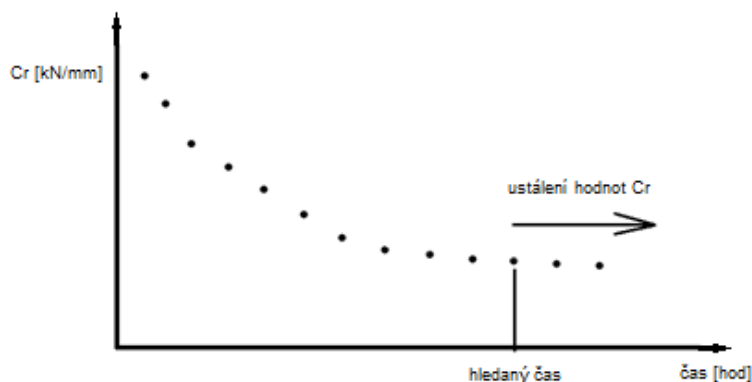


Obr. 31 Graf průběhu vyrovnávání okolní a vnitřní teploty v čepu.

Na vodorovné ose je čas a na svislé ose postupně měněná teplota. Černá křivka v grafu zachycuje teplotu uvnitř čepu, zatímco červená křivka ukazuje průběh teploty okolního prostředí. Z grafu tedy plyne, že čas potřebný pro vyrovnání okolní teploty s teplotou uvnitř čepu je přibližně kolem 45 minut. Pomocí tohoto výsledku se usoudilo, že doba mezi změnami teplot bude dostatečná při časovém intervalu 1,5 hodiny.

### 3.2.2 Test – doba po montáži

Pro tento test bylo možno použít maximálně 3 kusů gumových čepů a stejný počet hlav. Po zalisování prvního čepu se dala okamžitě celá sestava na test a sledovala se radiální tuhost ( $Cr$ ) v časových intervalech (3, 6, 9, ..., 96) hodin. Cílem bylo zjistit, kdy dojde k ustálení měřených hodnot. Na obr. 32 je znázorněn předpoklad, jak by mohl průběh testu vypadat.

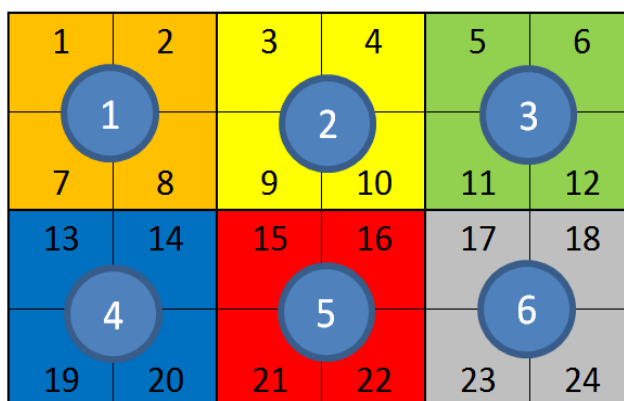


Obr. 32 Předpoklad průběhu grafu ve druhém testu.

### 3.2.3 Test – doba relaxace

Z důvodu náročnosti testu bylo možno použít maximálně 2 kusů pogumovaných čepů a stejný počet hlav. Test byl proveden 13 dní po montáži, aby se napětí v čepu vyrovnalo a neovlivňovalo měření. Stanovila se doba odpočinku, po které se měření opakovalo, a to: po minutách, hodinách, a po dnech. Konec měření byl stanoven na základě zkušeností zaměstnanců firmy a předpokládaného ustálení hodnot. Cílem bylo zjistit, za jaký časový interval bude možné měření opakovat, aby se dosáhlo téměř shodných naměřených hodnot.

Tuhost je vlastnost pryžových čepů, jak jsou schopny se deformovat a odolávat vnějšímu silovému namáhání. Čepy určené k pogumování se lisují ve vícenásobných formách. Tuhost čepů je ovlivněna tím, v jaké části celku (tj. kavitě) byl daný kus odlisován. Pro eliminaci tohoto účinku při vlastním testování se vybralo 5 kusů z kavity čísla 6 a 5 kusů čepů z kavity čísla 7. Čepy z těchto kavit se vyznačují po dlouhodobé zkušenosti nejvyšší hodnotou tuhosti v rámci rozmístění kavit ve formě. Další vhodné kavity jsou pod pozicí čísl 1, 12, 13, 18, 19 a 24. Na obr. 33 je znázorněno schéma, ve kterém jsou rozmístěny jednotlivé kavity v celkovém bloku.



Obr. 33 Schéma rozmístění jednotlivých kavit v celkovém bloku.

Čísla v kroužcích znázorňují jednotlivé hlavní vstřikovací body. Těmito body se přivádí hmota vždy do čtyř přilehlých kavit.

Použitá pryž je konkrétně přírodní kaučuk (NR) s tvrdostí  $65 \pm 3$  Shore A. Jedná se o kulový pogumovaný čep o průměru 62 mm uložený pomocí zesíleného podpůrného kroužku (označení V).

Celkem tedy bylo zapotřebí objednání 10 kusů pogumovaných čepů. Dále pak bylo nutné rezervovat testovací zařízení a zadat požadavek na provedení testu.

### 3.3 Provádění testů

Testy jsou rozepsány dle pořadí viz. kapitola 3.2.

#### 3.3.1 Test – teplotní zátěž

Před samotným testováním tohoto druhu testu předcházet jak již dříve zmíněný před-test. Pomocí něho se zjistila potřebná doba pro vyrovnání teploty uvnitř čepu s teplotou v jeho okolí. Ta se stanovila na 1,5 hodiny. Po tomto časovém intervalu se vždy teplota zvyšovala o hodnotu 5 °C. Testování probíhalo v klimatizované komoře, ve které byl umístěný celý díl včetně přípravku. Ten nahrazoval táhlo, na němž je umístěna hlava (obr. 34).



Obr. 34 Otevřená klimatizovaná komora, ve které probíhalo měření.

Tato komora byla propojena pomocí izolovaných hadic s teplotním agregátem. Na obr. 35 je zachyceno upnutí čepu do přípravku. Dráha radiálního pohybu se snímala pomocí externího inkrementálního snímače LM 30 taktéž znázorněného na obr. 35.



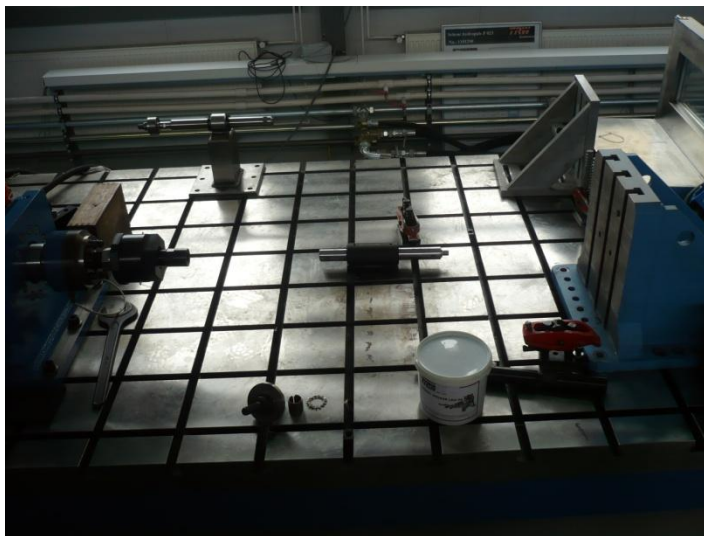
Obr. 35 Upnutí čepu a měření jeho tuhosti v teplotní komoře.



### 3.3.2 Test – doba po montáži

Jak již bylo v přípravě testů zmíněno, průběh testu závislého na časové prodlevě po montáži součásti spočíval v tom, že se čep měřil ihned po jeho zalisování, a to po časových intervalech 3 hodin. Měření probíhalo za provozních teplot v dílně. Cílem tohoto testu bylo zjistit, po jaké době po montáži dojde k ustálení naměřených hodnot.

Testování probíhalo na základní (montážní) desce, na kterou se umísťovala potřebná testovací zařízení. Tato zařízení byla upnuta na montážní desku do T-drážek (obr. 36).



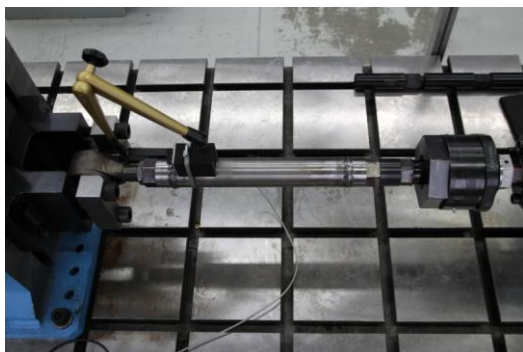
Obr. 36 Základní (montážní) deska pro testování.

Samotná montážní deska je umístěna na hydraulických patkách, které tlumí veškeré rázy způsobené v průběhu testů (obr. 37).

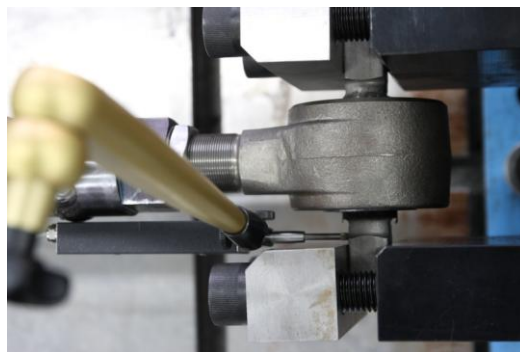


Obr. 37 Patky montážní desky.

Testovací zařízení bylo tvořeno lineárním hydromotorem značky (INOVA 250 kN), který vytváří podmínky nutné pro testování radiální tuhosti. Pohyb pístní tyče byl řízen servoventilem. Na pístní tyči byl dále připojen kulový kloub vyrovnávající případnou nesouosost testovaného táhla a pryžového čepu v hlavě (obr. 38). Dráha radiálního pohybu se snímala pomocí externího inkrementálního snímače LM 30. Čep byl zafixován pomocí montážních děr k přípravku (obr. 39).



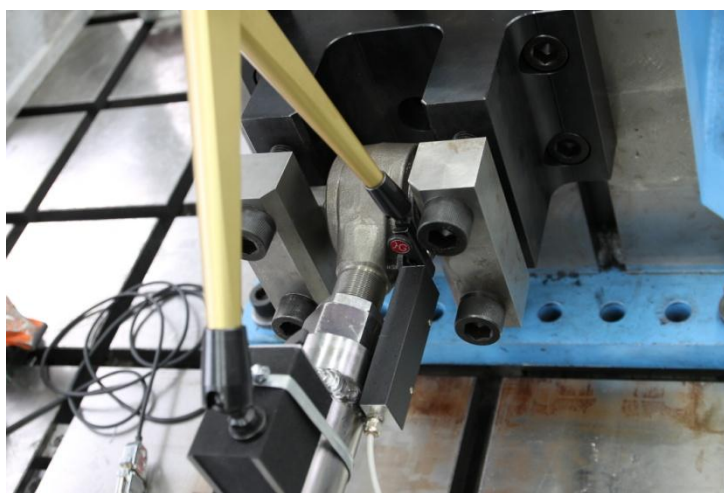
Obr. 38 Ukázka měření při druhém testu.



Obr. 39 Zafixování čepu v přípravku.

### 3.3.3 Test – doba relaxace

Princip měření tohoto druhu testu (doby relaxace) byl podobný jako u předcházejícího testu. Příprava čepů k testování se oproti předchozímu testu lišila. Po 13 dnech od jejich montáže se přistoupilo k měření. Měření se opakovalo postupně po minutách, dále pak po hodinách a při posledních měřeních i po dnech. Cílem bylo zjistit, za jaký časový interval (dobu relaxace) bude možné měření opakovat s tím, že se dosáhne relativně shodných naměřených hodnot. Na obr. 40 je zachycena měřicí sestava u testu, zvaném jako doba relaxace.



Obr. 40 Měřicí sestava při testu zvaném jako doba relaxace.

## 4 ROZBOR VÝSLEDKŮ

V této kapitole jsou uvedeny naměřené hodnoty všech testů, rozbor jednotlivých grafů a také stanovení závislostí po daných měřeních.

### 4.1 Naměřené hodnoty testů, jejich vyhodnocení a stanovení závislostí

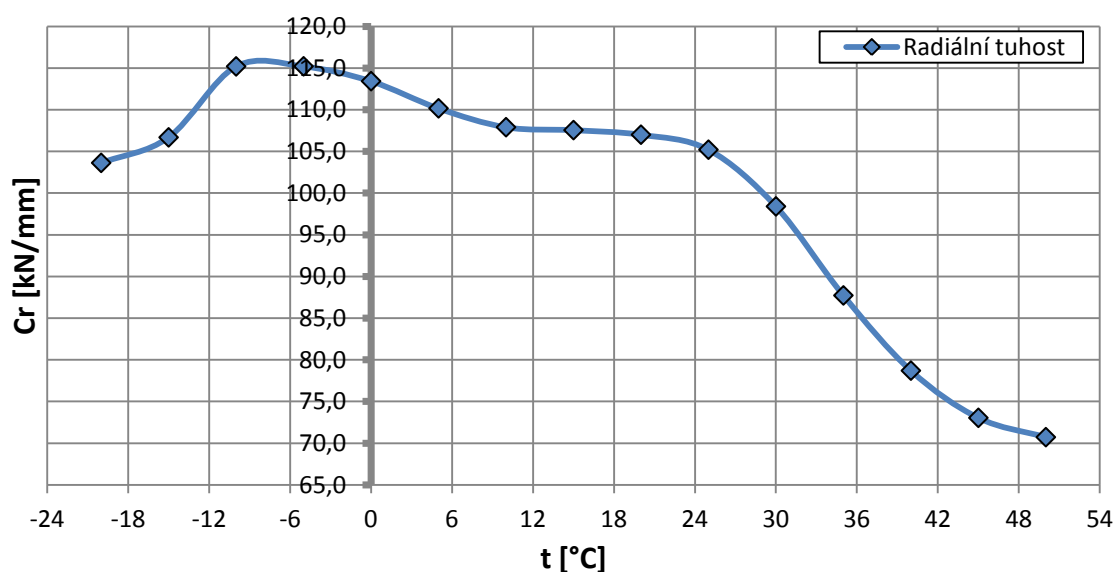
Uvedení výsledků je seřazeno dle pořadí jednotlivých druhů testů.

#### 4.1.1 Test - teplotní zátěž

Tab. 7 obsahuje naměřené hodnoty radiální tuhosti všech čtyř vzorků pro tento test.

Tab. 7 Naměřené hodnoty radiální tuhosti pro všechny čtyři vzorky testu, zvaného jako teplotní zátěž.

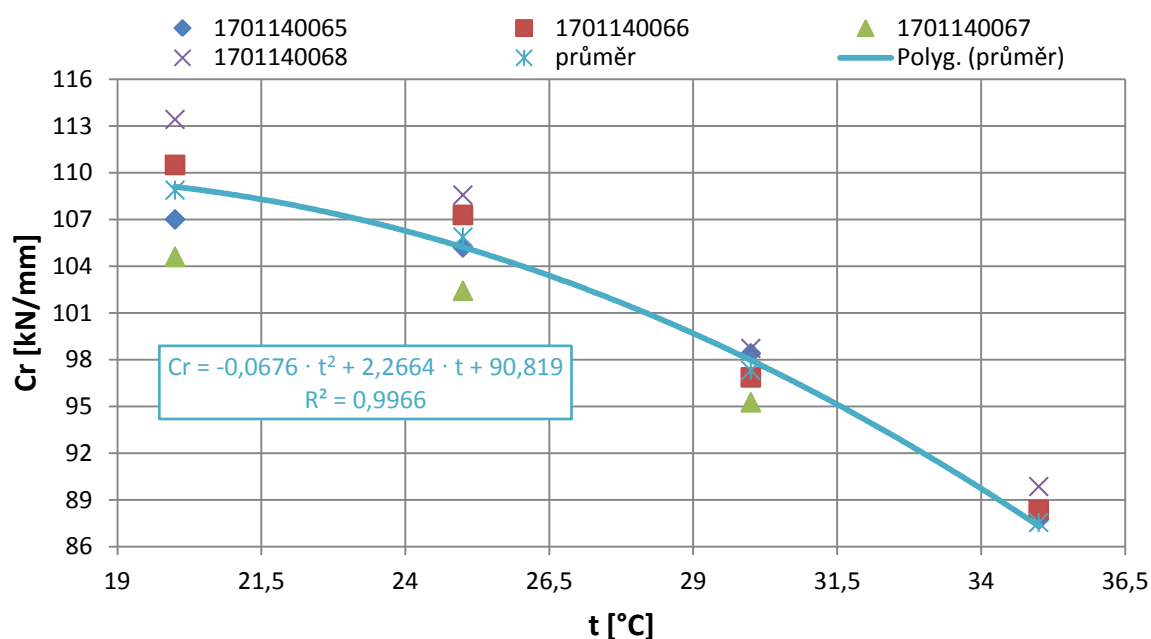
| Teplota<br>[°C] | CD číslo vzorku |               |               |               |
|-----------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|
|                 | 1701140065      | 1701140066    | 1701140067    | 1701140068    |
|                 | Cr<br>[kN/mm]   | Cr<br>[kN/mm] | Cr<br>[kN/mm] | Cr<br>[kN/mm] |
| -20             | 103,63          | 100,03        | 93,35         | 99,99         |
| -15             | 106,69          | 109,24        | 100,43        | 110,20        |
| -10             | 115,20          | 114,33        | 108,60        | 117,02        |
| -5              | 115,21          | 113,42        | 110,16        | 116,58        |
| 0               | 113,43          | 110,46        | 109,84        | 112,40        |
| 5               | 110,17          | 109,51        | 107,34        | 112,20        |
| 10              | 107,91          | 111,05        | 105,61        | 111,78        |
| 15              | 107,56          | 110,06        | 105,54        | 111,75        |
| 20              | 107,01          | 110,51        | 104,62        | 113,43        |
| 25              | 105,21          | 107,30        | 102,43        | 108,58        |
| 30              | 98,41           | 96,87         | 95,27         | 98,73         |
| 35              | 87,73           | 88,36         | 84,25         | 89,86         |
| 40              | 78,71           | 80,49         | 76,42         | 80,16         |
| 45              | 73,05           | 75,67         | 72,36         | 76,77         |
| 50              | 70,73           | 74,53         | 72,92         | 76,02         |



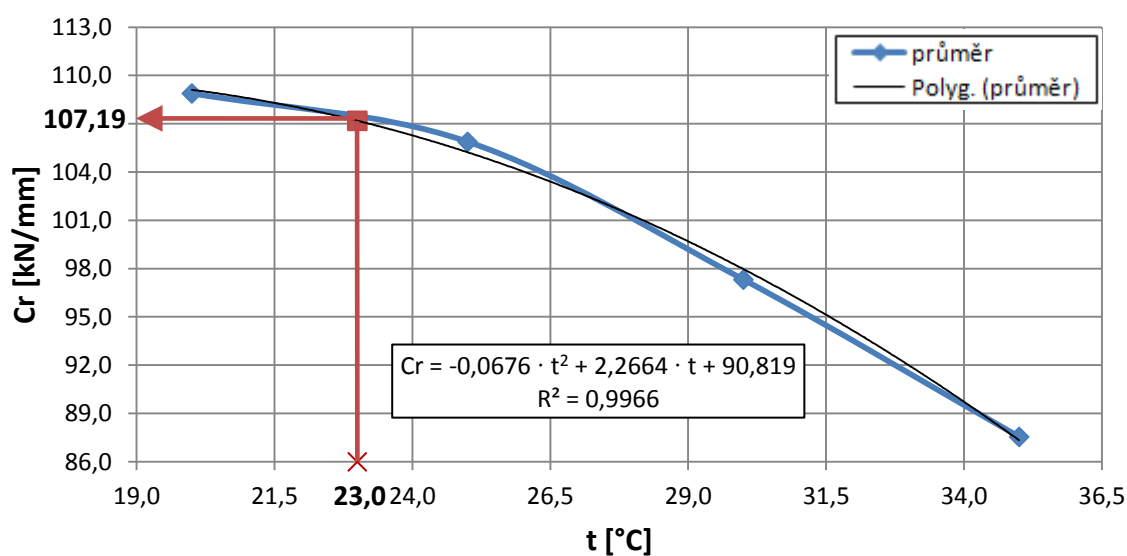
Obr. 41 Závislost radiální tuhosti na teplotní zátěži pro první vzorek.

Z obr. 41 je patrné, že se radiální tuhost od  $-20\text{ °C}$  až  $-10\text{ °C}$  poměrně prudce zvyšuje, poté mírně klesá až po teplotu  $10\text{ °C}$ , následuje relativně konstantní průběh radiální tuhosti do teploty  $20\text{ °C}$  a poté nastává prudký pokles tuhosti až do teploty  $50\text{ °C}$ . Pro účely měření na pracovišti je právě důležitý teplotní rozsah od  $20\text{ °C}$  do  $35\text{ °C}$ . V příloze 2 jsou dále uvedeny průběhy radiální tuhosti s teplotní zátěží zbývajících vzorků.

Jak již bylo dříve řečeno, v průběhu prvního testu byl pro účely měření na pracovišti nejdůležitější průběh radiální tuhosti v teplotním rozsahu od  $20\text{ °C}$  do  $35\text{ °C}$ . Právě takovýto rozsah teplot je v průběhu roku na pracovišti, kde dochází k jednotlivým měřením. Proto se dané úseky průběhů radiální tuhosti všech čtyř vzorků z prvního testu vynesly do jednoho grafu (obr. 42) a z nich se vytvořil zprůměrovaný průběh radiální tuhosti (obr. 43).



Obr. 42 Vybrané úseky všech čtyř vzorků pro radiální tuhost od teploty 20 až 35  $^{\circ}\text{C}$ .



Obr. 43 Průměr vybraných úseků všech čtyř vzorků pro radiální tuhost od teploty 20 až 35  $^{\circ}\text{C}$ .

Získaný průběh se proložil křivkou, která odpovídá rovnici (1).

$$Cr = -0,0676 \cdot t^2 + 2,2664 \cdot t + 90,819 \quad (1)$$

kde:  $Cr$  [ $\text{kN} \cdot \text{mm}^{-1}$ ] - radiální tuhost,  
 $t$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] - teplota.

pozn.: pro účely vztahu popsaného regresní rovnicí se na něho díváme jako na bezrozměrný výraz, lze ale také různé jednotky na levé a pravé straně rovnice řešit zavedením odpovídajících jednotek k jednotlivým koeficientům.

Z obr. 43 plyne, že pro požadovanou teplotu 23 °C odpovídá hodnota radiální tuhosti 107,19 kN · mm<sup>-1</sup>.

Naměřené tuhosti, jejichž hodnoty jsou vždy vztaženy k různé aktuální teplotě okolí, se mohou následně přepočítat k teplotě 23 °C.

Postup získání přepočítané hodnoty radiální tuhosti:

1. do rovnice (1) se dosadí teplota odpovídající naměřené radiální tuhosti,
2. od vypočítané hodnoty radiální tuhosti se odečte hodnota 107,19 kN · mm<sup>-1</sup> (radiální tuhost při teplotě 23 °C),
3. po tomto odečtení se získá hodnota korekce,
4. od naměřené radiální tuhosti se odečte hodnota korekce, čímž získáme přepočítanou hodnotu radiální tuhosti.

Po provedení tohoto postupu lze vždy naměřené radiální tuhosti jednotlivých pryžových kloubů přepočítávat k teplotě 23 °C.

#### 4.1.2 Test - doba po montáži

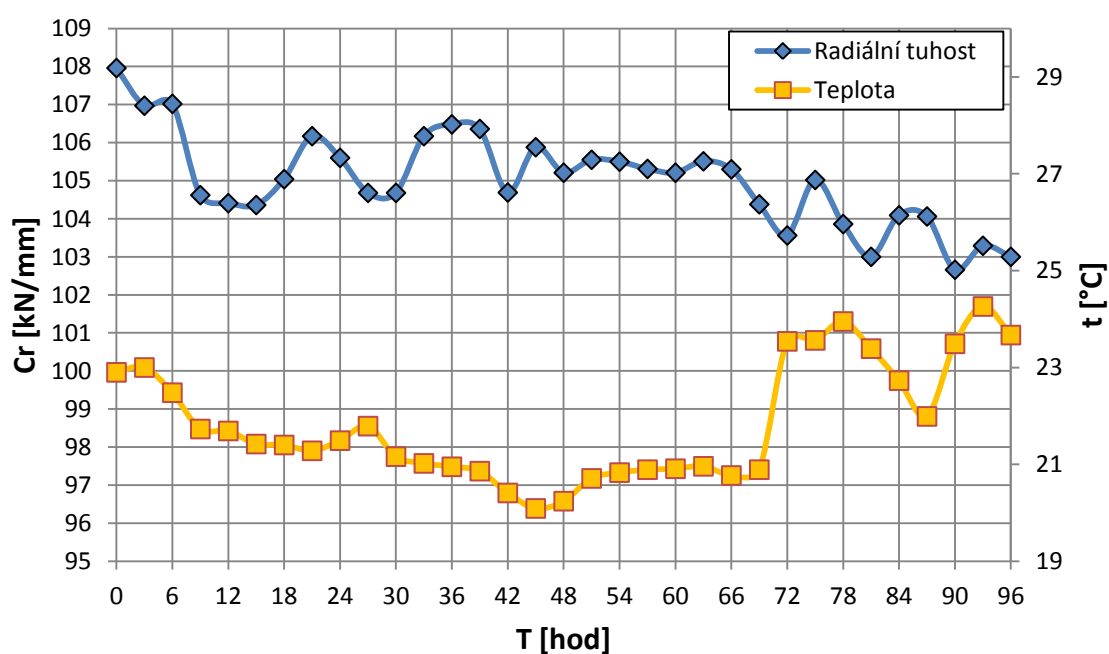
Tab. 8 obsahuje naměřené hodnoty všech tří vzorků.

Tab. 8 Naměřené hodnoty 3 vzorků pro druhý test.

| Čas<br>[hod] | CD číslo      |                 |               |                 |               |                 |
|--------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
|              | 1701140043    |                 | 1701140044    |                 | 1701140045    |                 |
|              | Cr<br>[kN/mm] | Teplota<br>[°C] | Cr<br>[kN/mm] | Teplota<br>[°C] | Cr<br>[kN/mm] | Teplota<br>[°C] |
| 0            | 107,96        | 22,90           | 111,76        | 25,14           | 119,62        | 22,31           |
| 3            | 106,97        | 23,00           | 109,82        | 25,29           | 115,12        | 23,74           |
| 6            | 107,02        | 22,48           | 107,33        | 25,45           | 113,32        | 24,55           |
| 9            | 104,62        | 21,73           | 110,14        | 24,59           | 110,68        | 24,77           |
| 12           | 104,41        | 21,69           | 108,59        | 23,98           | 111,65        | 24,40           |
| 15           | 104,36        | 21,42           | 110,02        | 23,99           | 113,42        | 24,16           |
| 18           | 105,04        | 21,40           | 109,56        | 23,65           | 112,66        | 23,88           |
| 21           | 106,17        | 21,28           | 108,81        | 23,66           | 111,36        | 23,81           |
| 24           | 105,60        | 21,49           | 108,53        | 24,68           | 111,12        | 24,61           |
| 27           | 104,68        | 21,79           | 104,65        | 25,80           | 112,44        | 23,65           |
| 30           | 104,68        | 21,16           | 106,78        | 25,32           | 115,1         | 20,02           |
| 33           | 106,17        | 21,02           | 107,05        | 24,78           | 115,13        | 22,73           |
| 36           | 106,48        | 20,95           | 107,49        | 24,34           | 112,72        | 23,00           |
| 39           | 106,36        | 20,86           | 107,05        | 24,27           | 113,34        | 22,91           |

|    |        |       |        |       |        |       |
|----|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| 42 | 104,69 | 20,41 | 106,97 | 24,03 | 114,14 | 22,80 |
| 45 | 105,88 | 20,09 | 107,97 | 24,16 | 112,43 | 23,76 |
| 48 | 105,21 | 20,24 | 107,07 | 24,93 | 110,44 | 24,17 |
| 51 | 105,55 | 20,71 | 105,87 | 25,18 | 110,09 | 25,42 |
| 54 | 105,50 | 20,83 | 106,92 | 24,81 | 111,52 | 24,63 |
| 57 | 105,31 | 20,89 | 107,07 | 24,64 | 110,17 | 24,20 |
| 60 | 105,21 | 20,91 | 107,08 | 24,51 | 113,12 | 23,47 |
| 63 | 105,51 | 20,96 | 107,05 | 24,38 | 115,19 | 22,78 |
| 66 | 105,30 | 20,77 | 107,69 | 24,12 | 114,15 | 22,55 |
| 69 | 104,38 | 20,89 | 107,63 | 24,68 | 113,47 | 24,17 |
| 72 | 103,56 | 23,54 | 107,33 | 25,27 | 112,36 | 24,79 |
| 75 | 105,02 | 23,56 | 107,05 | 26,01 | 111,8  | 24,28 |
| 78 | 103,86 | 23,95 | 106,46 | 25,72 | 112,11 | 24,82 |
| 81 | 103,00 | 23,39 | 107,07 | 24,87 | 112,12 | 24,37 |
| 84 | 104,09 | 22,73 | 107,6  | 24,68 | 112,43 | 24,18 |
| 87 | 104,06 | 21,99 | 107,02 | 24,27 | 112,8  | 24,22 |
| 90 | 102,66 | 23,49 | 107,64 | 24,22 | 113,46 | 23,62 |
| 93 | 103,29 | 24,26 | 107,05 | 24,95 | 113,45 | 25,15 |
| 96 | 103,00 | 23,67 | 107,38 | 24,77 | 113,62 | 24,96 |

Na obr. 44 zachycen průběh radiální tuhosti s průběhem teplotní závislosti prvního vzorku.



Obr. 44 Radiální tuhost s ovlivněním teploty pro první vzorek.

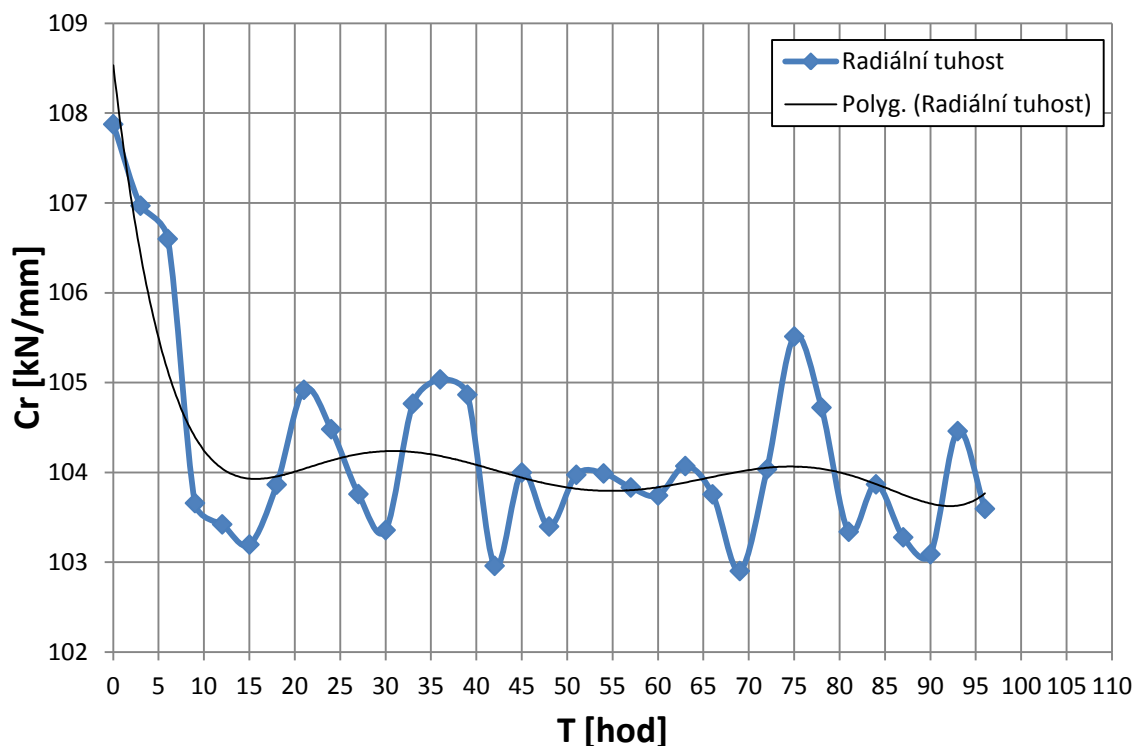
Z naměřených hodnot druhého testu vyplývá to, že radiální tuhost je závislá na teplotě i v řádech jejích jednotek. Proto bylo nutné brát v úvahu vliv teploty. Stanovila se konstantní teplota 23 °C, pro kterou se naměřené hodnoty přepočítali pomocí prvního testu (tab. 9).

Tab. 9 Původní a přepočítané hodnoty radiální tuhosti pro první vzorek.

| Vzorek číslo 1701140043 |            |         |              |            |
|-------------------------|------------|---------|--------------|------------|
| Čas [hod]               | Cr [kN/mm] | Korekce | Teplota [°C] | Po korekci |
| 0                       | 107,96     | 0,08    | 22,90        | 107,88     |
| 3                       | 106,97     | 0,00    | 23,00        | 106,97     |
| 6                       | 107,02     | 0,42    | 22,48        | 106,60     |
| 9                       | 104,62     | 0,96    | 21,73        | 103,66     |
| 12                      | 104,41     | 0,99    | 21,69        | 103,42     |
| 15                      | 104,36     | 1,16    | 21,42        | 103,20     |
| 18                      | 105,04     | 1,18    | 21,40        | 103,86     |
| 21                      | 106,17     | 1,25    | 21,28        | 104,92     |
| 24                      | 105,60     | 1,12    | 21,49        | 104,48     |
| 27                      | 104,68     | 0,92    | 21,79        | 103,76     |
| 30                      | 104,68     | 1,32    | 21,16        | 103,36     |
| 33                      | 106,17     | 1,40    | 21,02        | 104,77     |
| 36                      | 106,48     | 1,44    | 20,95        | 105,04     |
| 39                      | 106,36     | 1,49    | 20,86        | 104,87     |
| 42                      | 104,69     | 1,73    | 20,41        | 102,96     |
| 45                      | 105,88     | 1,88    | 20,09        | 104,00     |
| 48                      | 105,21     | 1,81    | 20,24        | 103,40     |
| 51                      | 105,55     | 1,58    | 20,71        | 103,97     |
| 54                      | 105,50     | 1,51    | 20,83        | 103,99     |
| 57                      | 105,31     | 1,48    | 20,89        | 103,83     |
| 60                      | 105,21     | 1,47    | 20,91        | 103,74     |
| 63                      | 105,51     | 1,44    | 20,96        | 104,07     |
| 66                      | 105,30     | 1,54    | 20,77        | 103,76     |
| 69                      | 104,38     | 1,48    | 20,89        | 102,90     |
| 72                      | 103,56     | -0,48   | 23,54        | 104,04     |
| 75                      | 105,02     | -0,49   | 23,56        | 105,51     |
| 78                      | 103,86     | -0,86   | 23,95        | 104,72     |
| 81                      | 103,00     | -0,34   | 23,39        | 103,34     |
| 84                      | 104,09     | 0,22    | 22,73        | 103,87     |
| 87                      | 104,06     | 0,78    | 21,99        | 103,28     |
| 90                      | 102,66     | -0,43   | 23,49        | 103,09     |
| 93                      | 103,29     | -1,17   | 24,26        | 104,46     |
| 96                      | 103,00     | -0,60   | 23,67        | 103,60     |



Po korekci se vytvořil nový průběh radiální tuhosti v závislosti pouze na čase při konstantní teplotě 23 °C (obr. 45).



Obr. 45 Závislost radiální tuhosti po korekci pro první vzorek.

V příloze číslo 3 jsou uvedeny průběhy radiální tuhosti po korekci pro druhý a třetí vzorek.

### Vyhodnocení

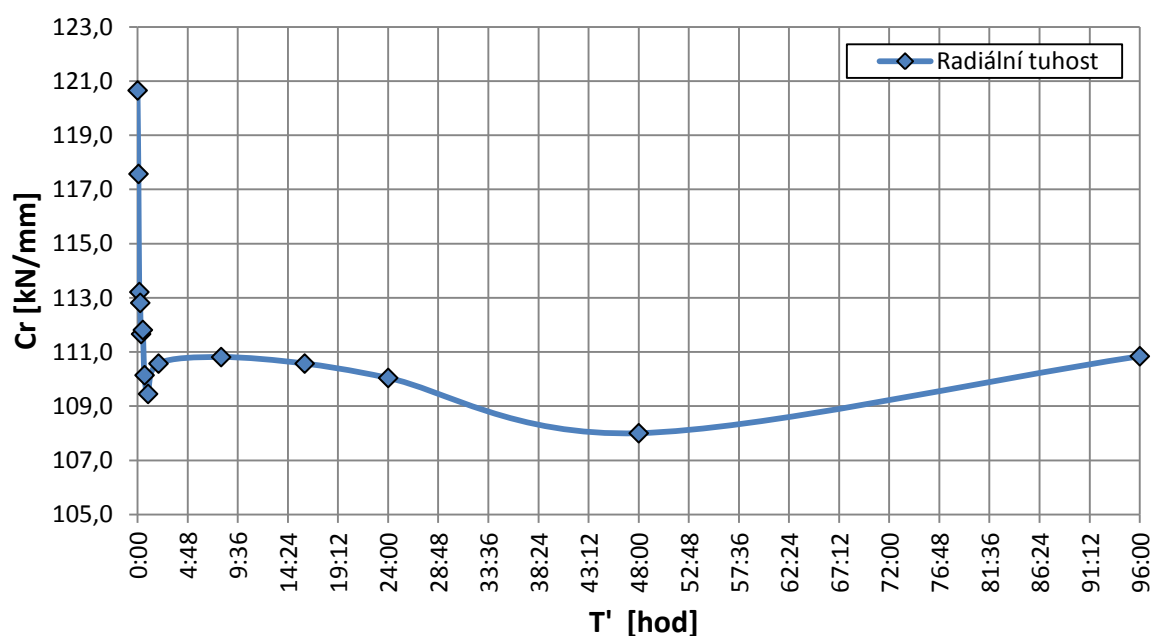
Z naměřených hodnot druhého testu bylo požadováno stanovení potřebného minimálního času po montáži jednotlivých komponent dílce vodícího táhla, kdy se už daný dílec může použít k měření tuhosti. Odečtením těchto hodnot z průběhů radiální tuhosti jednotlivých vzorků čili 10, 15 a 20 hodin se usoudilo, že bezpečnostní a zároveň potřebná minimální doba po montáži dílce je 24 hodin před jeho měřením.

### 4.1.3 Test - doba relaxace

Tab. 10 obsahuje naměřené hodnoty radiální tuhosti obou vzorků pro třetí test.

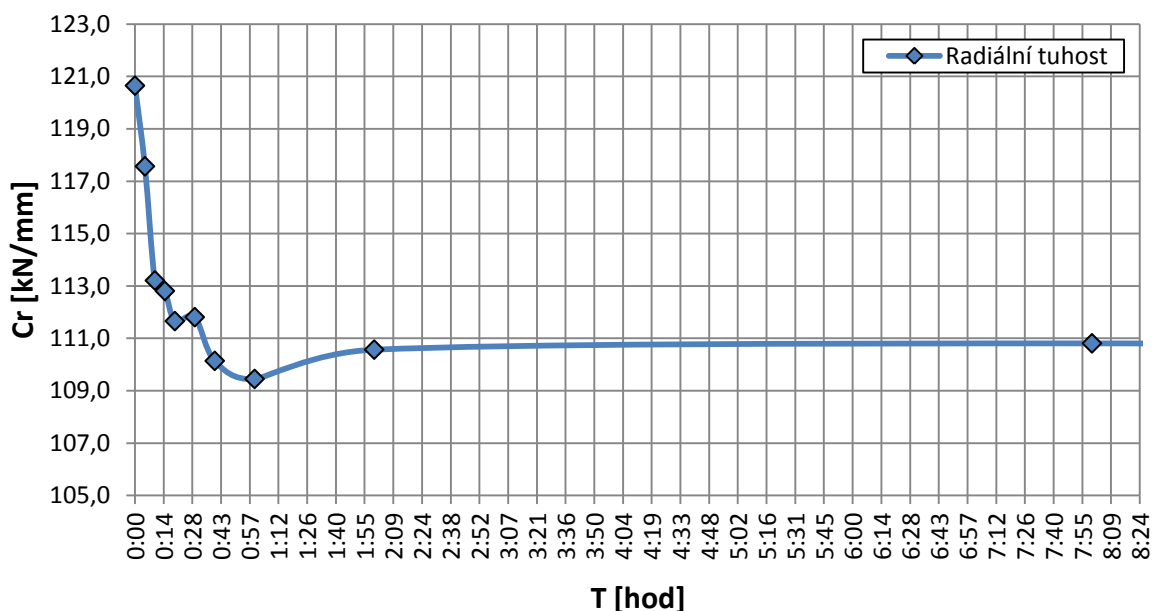
Tab. 10 Naměřené hodnoty radiální tuhosti dvou vzorků pro třetí test.

| Doba relaxace [hod] | CD číslo   |              |            |              |
|---------------------|------------|--------------|------------|--------------|
|                     | 1701140063 |              | 1701140064 |              |
|                     | Cr [kN/mm] | Teplota [°C] | Cr [kN/mm] | Teplota [°C] |
| 0:00                | 120,65     | 25,17        | 109,12     | 24,56        |
| 0:05                | 117,57     | 25,28        | 107,68     | 24,82        |
| 0:10                | 113,21     | 25,70        | 105,27     | 24,79        |
| 0:15                | 112,81     | 26,02        | 105,29     | 24,86        |
| 0:20                | 111,66     | 26,17        | 104,75     | 25,09        |
| 0:30                | 111,81     | 26,60        | 103,82     | 25,26        |
| 0:40                | 110,14     | 26,18        | 103,78     | 25,23        |
| 1:00                | 109,45     | 26,83        | 102,68     | 25,67        |
| 2:00                | 110,57     | 26,60        | 102,94     | 24,33        |
| 8:00                | 110,81     | 26,07        | 102,91     | 25,27        |
| 16:00               | 110,57     | 23,86        | 104,73     | 24,93        |
| 24:00               | 110,04     | 26,90        | 103,35     | 25,56        |
| 48:00               | 108,00     | 26,75        | 104,62     | 25,47        |
| 96:00               | 110,84     | 25,36        | 105,52     | 23,35        |



Obr. 46 Průběh radiální tuhosti prvního vzorku v testu zvaném doba relaxace.

Vzhledem ke špatné přehlednosti začátku průběhu naměřených hodnot radiální tuhosti vůči časové ose u obr. 46, je zachycen na obr. 47 detail tohoto začátku průběhu radiální tuhosti.



Obr. 47 Detail začátku průběhu radiální tuhosti pro první vzorek.

U tohoto druhu testu se korigování tuhosti neprovedlo. Graf byl dobře čitelný i bez korekce. Časové intervaly dosahovaly v závěru měření širších rozsahů, než jak tomu bylo u druhého testu.

Průběh radiální tuhosti druhého vzorku je uveden v příloze 4.

### Vyhodnocení

Na základě naměřených hodnot z průběhů radiální tuhosti obou vzorků v posledním třetím testu zvaném jako doba relaxace se stanovilo, že se po jedné hodině může provést znovu ten samý test nebo je možné poslat daný dílec na jiný druh měření tuhosti.

## 5 DOPORUČENÍ PRO MĚŘENÍ POGUMOVANÝCH ČEPŮ

Z předchozích provedených testů vyplývají jednotlivá stanovení a závislosti.

### 5.1 Test - teplotní zátěž

Testem radiální tuhosti za různých teplotních podmínek se získala závislost, díky níž se mohou právě naměřené radiální tuhosti pryžových kloubů přepočítat pouze k jedné teplotě (23 °C). Tím pádem jsou nové hodnoty eliminovány od vlivu teploty.

Postup tohoto přepočtu navrženého v kapitole 4.1.1 je zde znovu uveden:

1. do rovnice  $Cr = - 0,0676 \cdot t^2 + 2,2664 \cdot t + 90,819$  (1) se dosadí teplota odpovídající naměřené radiální tuhosti,
2. od vypočítané hodnoty radiální tuhosti se odečte hodnota  $107,19 \text{ kN} \cdot \text{mm}^{-1}$  (radiální tuhost při teplotě 23 °C),
3. po tomto odečtení se získá hodnota korekce,
4. od naměřené radiální tuhosti se odečte hodnota korekce, čímž získáme přepočítanou hodnotu radiální tuhosti.

Po provedení tohoto postupu lze pro rozsah teplot 20 – 35 °C naměřené radiální tuhosti jednotlivých pryžových kloubů přepočítávat k referenční teplotě 23 °C. Teploty pod 10 °C se na pracovišti nevyskytují. Radiální tuhost v teplotním rozsahu 10 °C do 20 °C není potřeba korigovat. Pro teploty nad 35 °C už nelze rovnici použít k přepočtu. Teploty nad 35 °C se už při měřeních nevyskytují.

### 5.2 Test - doba po montáži

Z testu závislého na časové prodlevě po montáži součásti se na základě naměřených hodnot stanovilo, že potřebná minimální doba po montáži dílce před jeho měřením je 24 hodin.

### 5.3 Test - doba relaxace

Po posledním testu zvaném jako doba relaxace se stanovilo, že se po jedné hodině může provést znovu ten samý test, nebo je možné dát týž dílec na jiný druh měření tuhosti.

## 6 TECHNOLOGICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Pro testy bylo zapotřebí devíti dílců plus jeden dílec pro před-test. Celkem bylo tedy dohromady potřeba 10 dílců. Každý dílec se skládal z jednotlivých komponent:

- hlava (62 mm se závitem),
- čep (062-0138-162-000),
- pojistný kroužek (78 mm).

Všechny ceny uvedené v technologicko-ekonomickém zhodnocení jsou míněny bez DPH. Cena jednoho kompletního dílce zahrnující materiál, výrobu, pogumování a veškeré ostatní práce s ním spojené je 499 Kč. Montáž všech jednotlivých dílců trvala dohromady přibližně jednu hodinu. Hodinová sazba této operace je 2 055 Kč (75 €).

Sestavení plánu testů probíhalo 3 hodiny. Při ceně 75 €/hod (6 163 Kč). Zadání testů se provedlo během jedné hodiny, rovněž v ceně 75 €/hod (2 055 Kč).

U jednotlivých testů je provedeno stanovení výše nákladů, jež byly potřebné k jejich realizaci.

Ke stanovení ceny pro všechny druhy testů se vycházelo z tzv. setupu (nastavení), který je stanoven na částku 3 000 Kč. Setup zahrnoval:

- upnutí dílce a ostatní manipulace,
- seřízení,
- naprogramování daného testu.

Cena jedné hodiny měření (provoz stroje a cena zaměstnanců) je u všech testů stejná, a to 140 Kč.

### Test – teplotní zátěž

Tento test byl prováděn v teplotní komoře, jež se musela umístit a připravit k měření. Náklady pro tuto operaci činily 1 800 Kč. Doba měření jednoho vzorku trvala 22,5 hod. a měřily se 4 vzorky. Stanovení ceny tohoto testu lze tedy zapsat pomocí rovnice (2).

$$C_{I.testu} = N_k + k \cdot N_s + k \cdot d \cdot C_m \quad (2)$$

|      |                    |   |                                       |
|------|--------------------|---|---------------------------------------|
| kde: | $C_{I.testu}$ [Kč] | - | cena testu,                           |
|      | $N_k$ [Kč]         | - | náklady pro přípravu teplotní komory, |
|      | $k$ [-]            | - | počet kusů,                           |
|      | $N_s$ [Kč]         | - | náklady na setup (nastavení),         |
|      | $d$ [hod]          | - | doba měření,                          |
|      | $C_m$ [Kč]         | - | cena jedné hodiny měření.             |

$$C_{I.testu} = 1\,800 + 4 \cdot 3\,000 + 4 \cdot 22,5 \cdot 140$$

$$C_{I.testu} = \mathbf{26\,400\,Kč}$$

### Test – doba po montáži

Doba měření jednoho vzorku byla 96 hodin. U tohoto druhu testu se měřily 3 kusy. Celkovou cenu pro tento druh testu lze zapsat obdobně jako pomocí rovnice (2), s tím že zde odpadnou náklady na přípravu teplotní komory.

$$C_{II.testu} = 3 \cdot 3\,000 + 3 \cdot 96 \cdot 140$$

$$C_{II.testu} = \mathbf{49\,320\,Kč}$$

### Test - doba relaxace

Po dobu 197 hodin se měřil jeden dílec a zapotřebí bylo 2 kusů. Celkovou cenu pro tento druh testu lze též zapsat pomocí rovnice (2) jen s tím, že zde také odpadnou náklady na přípravu teplotní komory.

$$C_{III.testu} = 2 \cdot 3\,000 + 2 \cdot 197 \cdot 140$$

$$C_{III.testu} = \mathbf{61\,160\,Kč}$$

### Před-test

Doba měření před-testu trvala 33 hodin a jednalo se o jeden vzorek. Stanovení ceny se provedlo pomocí rovnice (3).

$$C_{\text{před-test}} = N_s + d \cdot C_m \quad (3)$$

|      |                             |   |                           |
|------|-----------------------------|---|---------------------------|
| kde: | $C_{\text{před-test}}$ [Kč] | - | cena před-testu,          |
|      | $N_s$ [Kč]                  | - | náklady na setup,         |
|      | $d$ [hod]                   | - | doba měření,              |
|      | $C_m$ [Kč]                  | - | cena jedné hodiny měření. |

$$C_{\text{před-test}} = 3\,000 + 33 \cdot 140$$

$$C_{\text{před-test}} = \mathbf{7\,620\,Kč}$$

### Vyhodnocení naměřených hodnot

Zpracování výsledků, jež zahrnovalo práci s daty, vytvoření jednotlivých grafů a konečné vyhodnocení, probíhalo ve firmě TRW za osobní účasti autora diplomové práce. Doba zpracování trvala přibližně 16 hodin. Náklady spojené s vyhodnocením naměřených výsledků (při ceně 75 €/hod.) popisuje rovnice (4).

$$C_{zprac.} = d_z \cdot C_{hod-zprac} \quad (4)$$

kde:  $C_{zprac.}$  [Kč] - náklady pro vyhodnocení,  
 $d_z$  [hod] - doba zpracování,  
 $C_{hod-zprac}$  [Kč] - cena jedné hodiny vyhodnocování.

$$C_{zprac.} = 16 \cdot 2\,055$$

$$C_{zprac.} = \mathbf{32\,880\,Kč}$$

### Celkové náklady

V tab. 11 je popsáno, z čeho se vycházelo ke stanovení celkových nákladů.

Tab. 11 Uvedení jednotlivých nákladů.

| Popis dílčích nákladů        | Ceny jednotlivých nákladů [Kč] |
|------------------------------|--------------------------------|
| Cena deseti dílců            | 4 990                          |
| Montáž všech dílců           | 2 055                          |
| Sestavení plánu testů        | 6 163                          |
| Zadání testů                 | 2 055                          |
| Test – doba po montáži       | 49 320                         |
| Test – doba relaxace         | 61 160                         |
| Test – teplotní zátěž        | 26 400                         |
| Před-test                    | 7 620                          |
| Zpracování naměřených hodnot | 32 880                         |
| <b>Součet</b>                | <b>192 643</b>                 |

Jednotlivé cenové položky firma TRW-DAS a. s. neposkytla, jedná se však o obecné ceny testů. Na základě těchto dílčích nákladů (tab. 11) je tedy v součtu stanovena celková hodnota ve výši 192 643 Kč.

## 7 DISKUZE

Na základě požadavků firmy a úvodní části, kde je představena teorie zabývající se chováním, vlastnostem a použitím pryží, je stanoveno, jakými způsoby proběhnou speciální testy radiální tuhosti, díky kterým se získají údaje pro úpravu stávajícího měření pryžových kloubů. Tyto speciální testy se pojmenovaly (sestavily) následovně:

1. test za různých teplotních podmínek (teplotní zátěž),
2. test závislý na časové prodlevě po montáži součásti (doba po montáži),
3. test potřebný pro změření a získání stejné hodnoty na též součásti (doba/vliv relaxace).

Pro samotné testování bylo nutné předem objednat 10 pogumovaných čepů a hlav. Tento počet kusů byl z důvodu časových kapacit pro realizaci jednotlivých testů omezen. Dále se pak muselo rezervovat testovací zařízení a zadat požadavky na provedení jednotlivých testů.

Jednotlivé testy proběhly na pracovišti ve firmě TRW-DAS a. s.

Před testem zvaným jako teplotní zátěž bylo zapotřebí provést tzv. před-test, pomocí něhož se získala informace o době prohrátí testované součásti (pogumovaného čepu).

Z naměřených dat se sestavily grafy průběhů tuhostí pryžových kloubů (čepů). Vyhodnocením těchto průběhů se určilo potřebné doporučení.

Stanovilo se tedy, že se po jedné hodině může provést znovu ten samý test, nebo je možné dát týž dílec na jiný druh měření tuhosti (např. axiální tuhosti).

Další testem zvaným jako teplotní zátěž se zjistilo, že při teplotách 20 – 35 °C je poměrně velká závislost na naměřené tuhosti. Právě takovýto rozsah teplot je v průběhu roku na pracovišti, kde dochází k jednotlivým měřením. Tudíž se z tohoto intervalu teplot a průběhu tuhosti zapsala rovnice, pomocí níž se dále naměřené hodnoty mohou přepočítat k jednotné teplotě (např. 23 °C).

Jelikož byl průběh tuhosti, u testu zvaného jako doba po montáži, závislý při měření na změnu okolní teploty v řádech jednotek, provedla se korekce naměřených hodnot právě pomocí již zmíněné rovnice. Tím pádem se získala nová data po korekci, která se vztahovala pouze k teplotě 23 °C. Pomocí testu (doba po montáži) se tedy na základě naměřených a po korekci upravených hodnot usoudilo, že potřebná minimální doba po montáži dílce je před jeho měřením 24 hodin.

Přepočet a doporučení lze použít pouze za předpokladu, že čepy v různých výrobních dávkách a z různých kavit budou mít stejné parametry (tvrdost, rozměry, chemické složení) jako testované čepy.



## 8 ZÁVĚR

Z výsledků uvážlivě sestavených testů, jak z rešeršní části diplomové práce, tak požadavků firmy, byly stanoveny doporučení a závislosti:

- pomocí rovnice:  $Cr = -0,0676 \cdot t^2 + 2,2664 \cdot t + 90,819$  a tuhosti  $107,19 \text{ kN} \cdot \text{mm}^{-1}$  při  $23 \text{ }^{\circ}\text{C}$  lze vždy naměřené tuhosti jednotlivých vzorků za teplot  $20 - 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$  při měřeních přepočítávat k jediné teplotě ( $23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Teploty pod  $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  se na pracovišti nevyskytují. Radiální tuhost v teplotním rozsahu  $10$  do  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  není potřeba korigovat. Pro teploty nad  $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$  už nelze rovnici použít k přepočtu. Teploty nad  $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$  se už při měřeních nevyskytují,
- potřebná minimální doba po montáži dílce je před jeho měřením 24 hodin,
- po jedné hodině se může provést znovu stejné měření tuhosti čepu nebo je možné předat daný dílec na jiný druh měření tuhosti.

Firma TRW-DAS a. s. pomocí výše uvedených doporučení a závislostí je schopna správně v určitou dobu přecházet k jednotlivým měřením a korigovat naměřené hodnoty při nestandardních teplotách.

Firma se chystá implementovat tyto doporučení, poněvadž získá naměřené výsledky korigovaných hodnot. Tudiž nedojde ke zkreslení naměřených hodnot teplotou a také k nežádoucímu opakování měření. Tím se zefektivní potřebný čas měření. Celkový čas je v současné době velmi sledovaný.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. DOLEŽEL, Břetislav. *Odolnost plastů a pryží*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1981, 710 s.
2. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-32.
3. Kaučuk. *RESINEX* [online]. 2014 [vid. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.resinex.cz/polymerove-typy/natural-rubber.html>
4. Gumárenská technologie. In: MALAČ, Jiří. *Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně* [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: [www.utb.cz/file/36214\\_1\\_1/](http://www.utb.cz/file/36214_1_1/)
5. *Problematika tváření elastomery* [online]. Brno, 2012 [vid. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://opus.fme.vutbr.cz/dokumenty/moduly/Podany.pdf>. Vzdělávací a tréninkový modul. Vysoké učení technické v Brně - Fakulta strojního inženýrství.
6. Technologie výroby technické pryže. *Miroslav Novák - Konstrukční kancelář* [online]. 2011 [vid. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.mn-kk.freepage.cz/nova-stranka-155756/>
7. HOLUB, Josef. *Pryž jako konstrukční materiál*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1967, 165 s.
8. Přístroje pro měření tvrdosti nekovových materiálů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: Vogel Publishing, 2002, č. 6 [vid. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/pristroje-pro-mereni-tvrdosti-nekovovych-materialu.html>
9. PERNIKÁŘ, Jiří. *Strojírenská metrologie II*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 180 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-3338-8. Učební texty vysokých škol. Vysoké učení technické v Brně - Fakulta strojního inženýrství.
10. KARPÍŠEK, Zdeněk. *Matematika IV: statistika a pravděpodobnost*. 3. dopl. vyd. Brno: CERM, 2007. 170 s. ISBN 978-80-214-3380-9. Učební texty vysokých škol. Vysoké učení technické v Brně - Fakulta strojního inženýrství.

11. *TRW Automotive: Messung Radialelastizität. Düsseldorf.*
12. PITTL, Michal. *Generic Product Specification for Commercial Vehicles: Rear axle products: Radius rods, V-links.* 20. 2. 2012.
13. *Test report: Characterization of the tests.* 2. 4. 2007.
14. *Průběžná zpráva: TRW Higher Education Grants: Rubber Ball Joint Material.* Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav fyziky a materiálového inženýrství, 30. 9. 2009.
15. ŠVORČÍK, V. *Polymery: Základní rozdělení polymerů a jejich spotřeba.* 28 s.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Zkratka     | Jednotka | Popis                                |
|-------------|----------|--------------------------------------|
| <b>BR</b>   | [-]      | Poly-butadienový kaučuk              |
| <b>EPDM</b> | [-]      | Ethylene propylene diene monomer     |
| <b>IRHD</b> | [-]      | International rubber hardness degree |
| <b>NR</b>   | [-]      | Přírodní kaučuk                      |
| <b>SBR</b>  | [-]      | Styren butadienový kaučuk            |

| Symbol                       | Jednotka                  | Popis                                |
|------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| <b>Ca</b>                    | [kN · mm <sup>-1</sup> ]  | Axiální pohyb                        |
| <b>Cc</b>                    | [kN · mm <sup>-1</sup> ]  | Kardanický pohyb                     |
| <b>C<sub>hod-zprac</sub></b> | [Kč]                      | Cena jedné hodiny vyhodnocení        |
| <b>C<sub>m</sub></b>         | [Kč]                      | Cena jedné hodiny měření             |
| <b>C<sub>před-test</sub></b> | [Kč]                      | Cena před-testu                      |
| <b>Cr</b>                    | [kN · mm <sup>-1</sup> ]  | Radiální pohyb                       |
| <b>Ct</b>                    | [Nm · deg <sup>-1</sup> ] | Torzní pohyb                         |
| <b>C<sub>I.testu</sub></b>   | [Kč]                      | Cena I. testu                        |
| <b>C<sub>zprac.</sub></b>    | [Kč]                      | Náklady pro vyhodnocení              |
| <b>K</b>                     | [kp · cm <sup>-2</sup> ]  | Modul objemové pružnosti             |
| <b>N<sub>k</sub></b>         | [Kč]                      | Náklady pro přípravu teplotní komory |
| <b>N<sub>s</sub></b>         | [Kč]                      | Náklady na setup (nastavení)         |
| <b>R<sub>s</sub></b>         | [%]                       | Odrázová pružnost                    |
| <b>T</b>                     | [hod]                     | Čas měření                           |
| <b>T'</b>                    | [hod]                     | Uběhnutý čas od předchozího měření   |
| <b>d</b>                     | [hod]                     | Doba měření                          |
| <b>d<sub>z</sub></b>         | [hod]                     | Doba zpracování                      |
| <b>k</b>                     | [-]                       | Počet kusů                           |
| <b>l<sub>o</sub></b>         | [cm]                      | Původní délka                        |
| <b>t</b>                     | [°C]                      | Teplota                              |
| <b>Δl</b>                    | [cm]                      | Prodloužení                          |

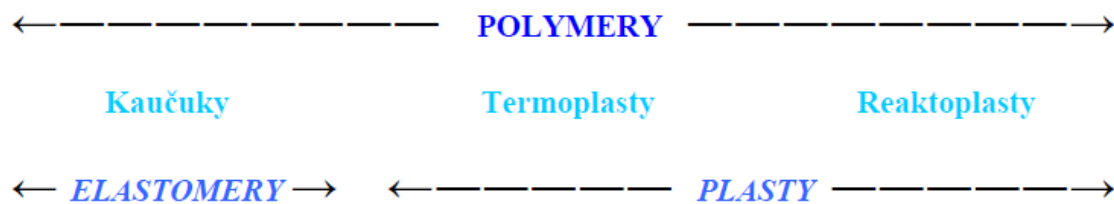
|               |                          |                                     |
|---------------|--------------------------|-------------------------------------|
| $\varepsilon$ | [%]                      | Poměrné prodloužení                 |
| $\sigma$      | [kp · cm <sup>-2</sup> ] | Smluvní napětí                      |
| $\sigma'$     | [%]                      | Napětí po určitém časovém intervalu |

**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1      Rozdělení polymerů [15].
- Příloha 2      Průběhy radiální tuhosti s teplotní zátěží zbývajících vzorků.
- Příloha 3      Průběhy radiální tuhosti s eliminací vlivu teploty pro druhý a třetí vzorek (doba po montáži).
- Příloha 4      Průběh radiální tuhosti druhého vzorku ve třetím testu (doba relaxace).

## PŘÍLOHA 1

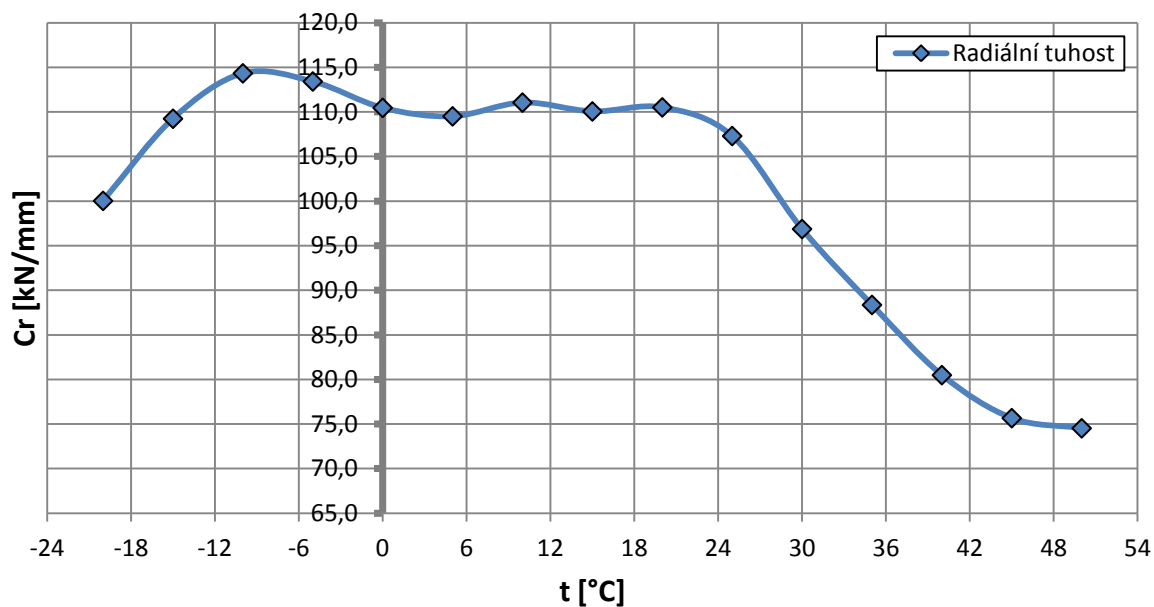
Rozdělení polymerů [15].



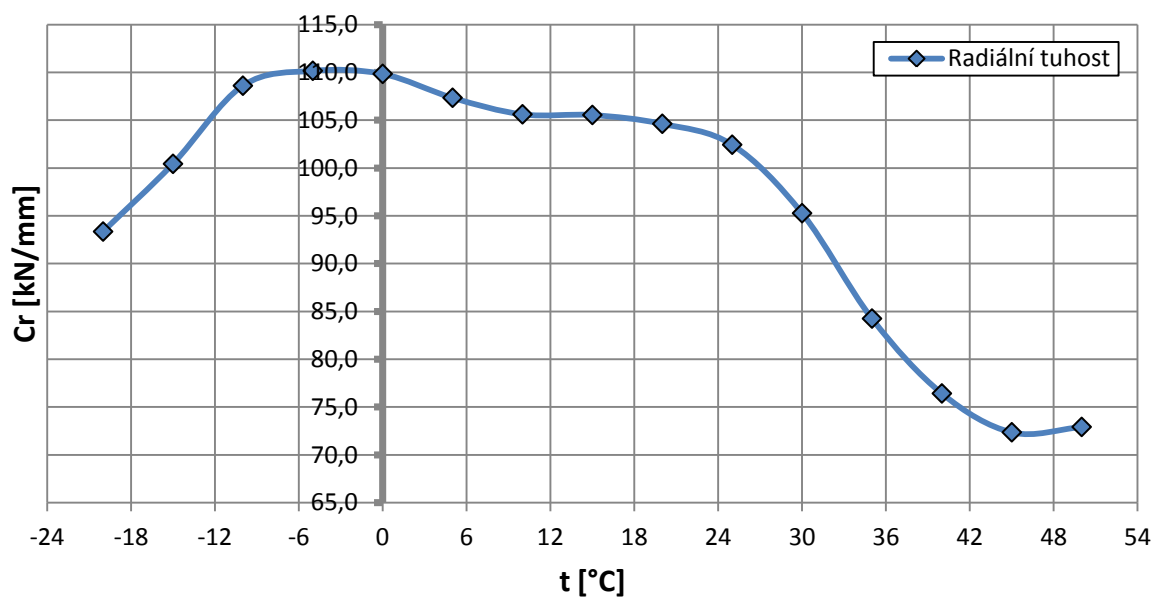
## PŘÍLOHA 2

Průběhy radiální tuhosti s teplotní zátěží zbývajících vzorků.

*Průběh radiální tuhosti s teplotní zátěží vzorku 1701140066.*



*Průběh radiální tuhosti s teplotní zátěží vzorku 1701140067.*

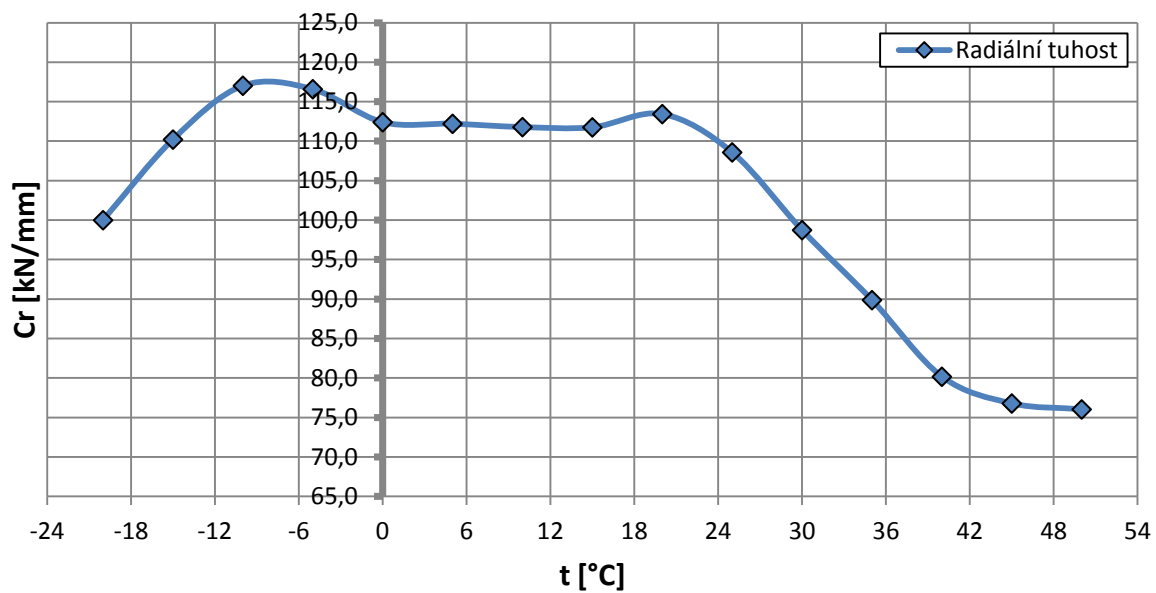




## PŘÍLOHA 2

Průběhy radiální tuhosti s teplotní zátěží zbývajících vzorků.

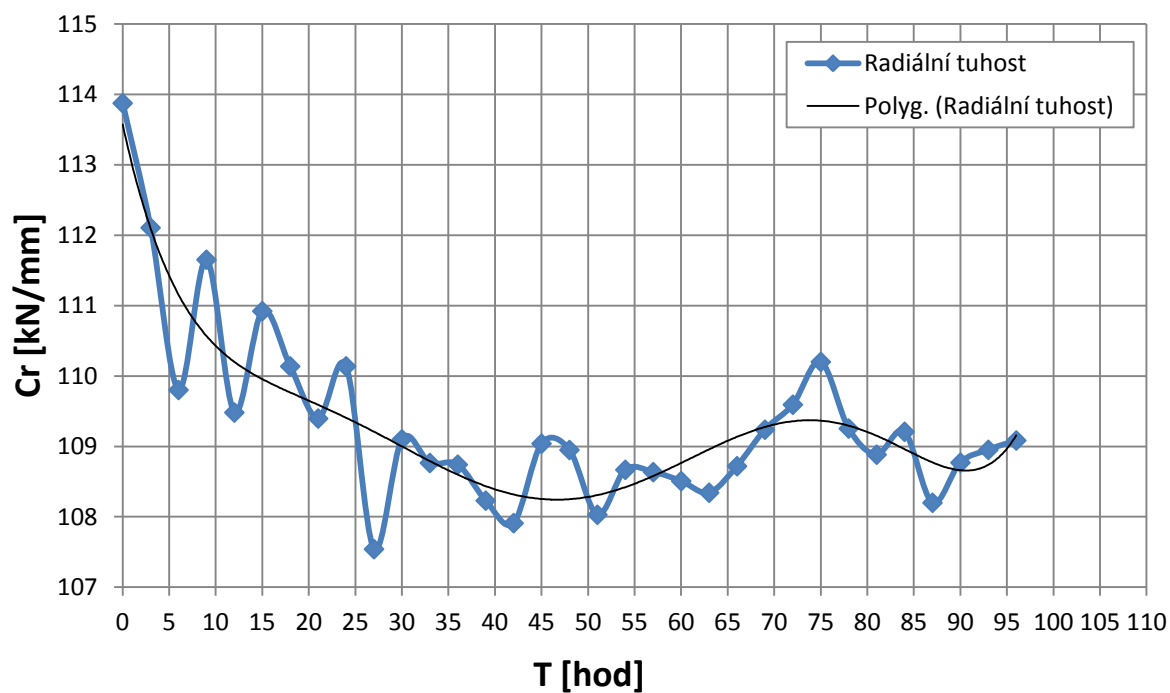
*Průběh radiální tuhosti s teplotní zátěží vzorku 1701140068.*



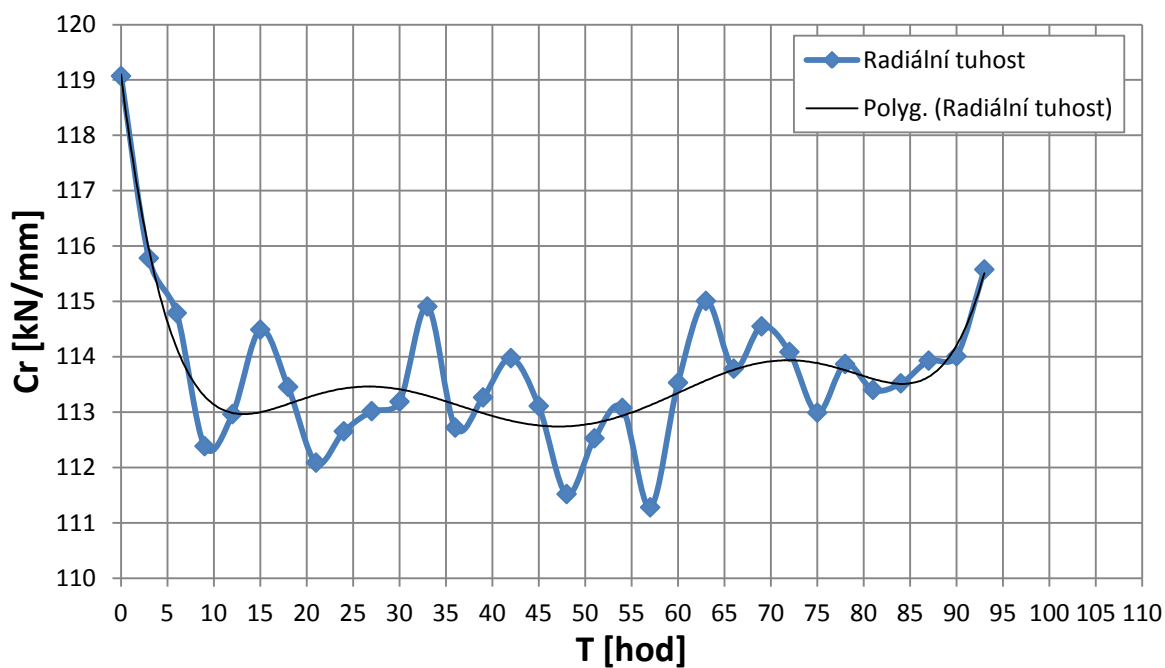
### PŘÍLOHA 3

Průběhy radiální tuhosti s eliminací vlivu teploty pro druhý a třetí vzorek ve druhém testu (doba po montáži).

*Průběhy radiální tuhosti s eliminací vlivu teploty pro vzorek 1701140044.*



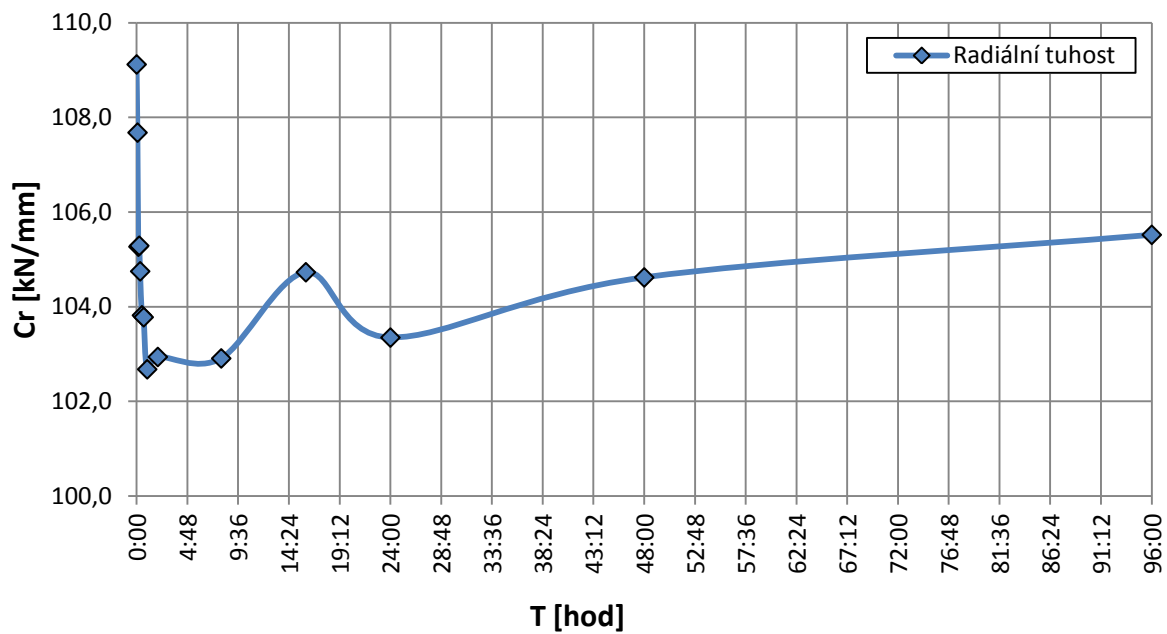
*Průběhy radiální tuhosti s eliminací vlivu teploty pro vzorek 1701140045.*



## PŘÍLOHA 4

Průběh radiální tuhosti druhého vzorku ve třetím testu (doba relaxace).

*Průběh radiální tuhosti vzorku 1701140064 (doba relaxace).*



*Detail začátku průběhu radiální tuhosti vzorku 1701140064 (doba relaxace).*

